[illegible]

[illegible]

পদার্থ বিজ্ঞান

প্রথম ভাগ

[নবম ও দশম শ্রেণীর জন্য]

শ্রীচিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত, এম্. এস্-সি.

সিটি কলেজের 'পদার্থ বিজ্ঞানের' অধ্যাপক, 'A Text-Book of Intermediate Physics', Pre-University Physics, 'ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞান' (Practical Physics) ও 'বিজ্ঞান-প্রবেশিকা' (General Science) প্রভৃতি গ্রন্থের লেখক, বিশ্ববিদ্যালয়ের পরীক্ষক, ইত্যাদি।

বুক সিণ্ডিকেট প্রাইভেট লিমিটেড

৬, রমানাথ মজুমদার স্ট্রীট, কলিকাতা-৯

সূচীপত্র

সূচনা

সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান

তাপ বিজ্ঞান

আলোক বিজ্ঞান

PHYSICS – SYLLABUS

CLASSES IX—X

(Figures in the bracket indicate references to articles of book)

(a) Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demostration 4
1. Measurement of length (1·9) volume (1·16) mass (1·17) weight (1·19) and time (1·20). Measurement of angle (1·22). simple pendulum (experimental study only) (2nd part).	Both F. P. S. & C. G. S. systems are expected (1·3) Explanation of Decimal measure; its usefulness. (1·7).	The use of measuring cylinder (1·16). Measurement of length (1·9) and time (1·20) period of Pendulum (3·6) Use of Vernier (in class X). (1·9 & 1·11)	Use of beam balance (1·17) and spring balance (1·19). Use of Vernier (in class XI). (1·9 & 1.11).
2. Density (1·18) and specific gravity (4·1). Measurement of density and specific gravity of solids, liquids (4·3-4·9).	Relative density to be explained (4·1) Density of a gas (4·10).	Density of bodies of regular (1·16) and irregular shape (3·7).	
3. Meaning of pressure (2·5) Pressure and thrust (2·8) Pressure in liquids (2·9) Characteristics of fluid pressure (2·10).	Balancing columns in U-tube (2·13) Effect of size of the tube (2·13). Pressure at house taps etc. (2·12) Importance of vertical		Pressure depends on head of liquid (2·9) Pressure independent of area (2·9) · Pressure in liquids acts equally in all directions

(b) Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demonstration 4
Archimedes' principle and buoyancy (3·5 & 3·1) Pascal's law (2·14) Floating bodies (3·8)	height (2·12) Hydraulic press (2·12) Hydraulic garage-lift (2·16) Floatation of ships and balloons (3·10 & 3·11) Hydrometers (4·6 & 4·7)		(2·10) Transmission of fluid pressure (2·14). Submerged bodies, floating bodies, Sinking bodies (3·8).
4. Atmospheric pressure (5·1-5·2) The Barometer (5·3) Pressure in gases (5·7).	Effect of moisture on atmospheric pressure (5·6) Weather maps (5·6) Pumps (5·11-5·13) Siphon (5·14).	Reading the Barometer. (Class XI). (5·3)	Burette full of water in-verted in a beaker of water; air admitted later (5·2) Barometer tubes of different lengths inverted over a mercury trough (5·2) Balloon containing a little air under bell-jar connected to an exhaust pump (5·2) Magde[illegible] hemisphere. (5·2).
5. Temperature (1·4) and its measurements (1·6) Thermometers (1·7), (1·8) Expansion of solids, liquids and gases (Chap. 3 & 4).	Effect of heat (such as, bodies get hotter; melting; evaporation; chemical action; burning; destruction of life; light) to be mentioned. (1·3) Fahrenheit and Centigrade.	Determination of fixed points of a thermometer (1·7)	Ball-and-ring experi[illegible] (3·1) Bi-metallic s[illegible] (3·2) Demonstrations [illegible] expansion of liquids (4[illegible] and gases (4·12). Grea[illegible] force exerted during expansion and contraction (3·8).

(c)

Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demonstration 4
	scales (1·7) and their conversion (1·7) Maximum and minimum thermometers (1·8). The clinical thermometer (1·8). Anomalous expansion of water (1·8).		
6. Measurement of quantity of heat (2·1)—heat units (2·2). Specific heat (2·4). Thermal capacity (2·9) and water equivalent (2·11).	Heat lost—Heat gained (2·10). Calculation of specific heat from data by method of mixtures (2·8).	Determination of Specific heat (solid) by method of mixtures (2·11).	
7 Melting (5·2). Evaporation (5·11). Boiling (5·15) Moisture in air (6·1) Dew-points (6·2). Relative humidity (6·3).	Effect of pressure on melting point and boiling point (5·6 & 5·16) Cooling effect of evaporation (5·11) Dew (6·5) mist, cloud and rain (6·10) Wet-and-dry bulb hygrometer (6·9) and simple form of Regnault's hygrometer (6·8).	Determination of melting point of crystalline solid (graphical method) (5·5).	Weighted wire cuts through ice (5·7). Freezing point of salt water (5·8) Boiling under reduced pressure (5·16). Determination of relative humidity. (6·9).

(d) Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demonstration 4
8. Conduction, convection and radiation. (Chap. 7)	Ventilation (7·7). Land and sea breezes (7·7). Effect of cotton and woolen clothings to be explained (7·5). Davy's lamps (7·4) and cooling system of an automobile engine to be discussed (7·7). Thermoflask (7·12).		Heat conductivity in metals—Ingenhausz's experiment (7·3). Davy's Safety lamp (7·4) Copper spiral extinguishes a candle flame (7·5).
9. Light—Straight line propagation (1·3). Pinhole camera (1·4). Shadows from point and extended sources (1·5). Eclipses of sun and moon (1·7).	Circular or Elliptical patches of light in the shadow of leaves of trees to be explained (1·4). Value of speed of light to be mentioned, but no experiment need be described (1·8).		Shadow effect produced by light from point and extended sources (1·5) Pinhole Camera (1·4) (Umbra & Penumbra).
10. Reflection at plane surfaces (2·1). Laws of reflection (2·3) Lateral inversion. (2·16)	The importance of smooth sufaces; regular reflection as opposed to scattering (2·13). Inclined mirrors (2·13). Effect of rotating the mirror (2·14) Effect of motion of the object (2·13 Size of mirror	Verify—(i) Angle of incidence is equal to angle of reflection (2·5)(ii) Image distance is equal to object distance (Pin method) (2·11).	Action of Periscope [illegible] ing vertical board [illegible] beam apparatus [illegible] Candle burning is [illegible] (2·13). Kaleidoscope [illegible]

(e)

Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demonstration 4
	for viewing full image of a person (2·15). Periscope (2·13)		
11. Refraction (3·1). Snell's law (3·3). Total reflection (3·9). Dispersion (5·1). Composite nature of white light (5·2)	Reference to colours of a rainbow (5·5). Newton's colour disc to be demonstrated (5·2).	Verification of Snell's law (Pin method) (3·4)	Various experiments to demonstrate total internal reflection (3·11). Production of spectrum by Prism (5·1). Recombination of colours by inverted prism (5·2). (Hartle's Disc).
12. Lens—graphical treatment only. (Chap. 4)	Idea of focal length; (4·5) real image—magnified, reduced; virtual image (4·7).	f by U—V method. (converging lenses only) (4·13)	

সূচনা

পদার্থ বিজ্ঞানের স্বরূপ ঃ

এই পৃথিবী বস্তুময়। আমাদের চতুর্দিকে চোখ ফিরাইলেই বহুরকম বস্তুর সন্ধান মিলে। টেবিল, চেয়ার, কাগজ, কলম ইত্যাদি যে-সমস্ত দ্রব্য আমরা ইন্দ্রিয় দ্বারা বুঝিতে পারি এবং যাহার ওজন আছে তাহাই বস্তু। এই সমস্ত বস্তুর সৃষ্টি কি করিয়া হইল, ইহাদের গঠনপ্রণালী, আচরণ বা উপযোগিতা কিরূপ এই সম্বন্ধে কৌতূহল উদ্রেক হওয়া খুবই স্বাভাবিক। তাই, পৃথিবীর আদিম যুগ হইতে মানুষের অনুসন্ধানী মন এই সম্বন্ধে প্রশ্ন করিয়াছে এবং ইহার জবাব খুঁজিয়াছে। বস্তু যে উপাদানে তৈরী তাহাকে আমরা বলি **পদার্থ** (Matter)।

বস্তু বা পদার্থ ছাড়া আর একটি জিনিসের প্রতি মানুষের দৃষ্টি পড়িয়াছিল। তাহা হইল **শক্তি** (Energy)। এই শক্তি আছে বলিয়া জগৎ চলিতেছে। শক্তির অভাবে জগৎ স্থাণুবৎ। শক্তি এবং ইহার বিভিন্ন রূপের সহিত আমাদের পরিচয় বস্তুর মাধ্যমে। যেমন, তাপ এক প্রকার শক্তি। কিন্তু তাপকে আলাদা করিয়া কোন আকার বা রং দিয়া আমাদের ধরা-ছোঁয়ার ভিতর আনা সম্ভব নয়। কিন্তু কোন বস্তুর তাপমাত্রার (temperature) পরিবর্তন লক্ষ্য করিয়া অথবা উহার প্রসারণ (expansion) লক্ষ্য করিয়া আমরা বস্তুতে তাপশক্তির অস্তিত্ব বুঝিতে পারি। এইরূপ, বিদ্যুৎ আর এক প্রকারের শক্তি। বিদ্যুৎকে বুঝিতে হইলে কোন বস্তুতে উহার প্রবাহ ঘটাইয়া তাহার ফলাফল লক্ষ্য করিতে হইবে। যেমন, বৈদ্যুতিক পাখায় যখন প্রবাহ চলে তখন পাখা ঘোরে এবং তখনই আমরা বৈদ্যুতিক শক্তির অস্তিত্ব বুঝিতে পারি। কাজেই শক্তির পরিচয় পাইতে হইলে বস্তুর সাহায্য প্রয়োজন।

পদার্থ এবং শক্তির লীলাক্ষেত্র এই যে বিরাট এবং বিচিত্র জগৎ—এই জগতের রহস্য উদ্‌ঘাটন এবং বহুবিধ প্রাকৃতিক ঘটনা সম্বন্ধে প্রকৃত জ্ঞানলাভ—ইহাই হইল পদার্থ বিজ্ঞানের স্বরূপ।

পদার্থ বিজ্ঞানের বিভিন্ন বিভাগ :

বহুপূর্বে সমস্ত প্রাকৃতিক বিজ্ঞান, যথা—রসায়ন, প্রাণিবিদ্যা, উদ্ভিদ্‌বিদ্যা, জ্যোতির্বিদ্যা প্রভৃতি সমস্তই পদার্থ বিজ্ঞানের অন্তর্গত ছিল। কিন্তু বিজ্ঞানীর কর্মপ্রচেষ্টায় যখন প্রত্যেকটি শাখা সম্বন্ধে মানুষের জ্ঞানের পরিধি বাড়িতে লাগিল তখন পদার্থ বিজ্ঞান হইতে ঐগুলিকে পৃথক করিবার প্রয়োজন অনুভূত হইল। এখন, পদার্থ এবং শক্তি সম্বন্ধে চর্চা করাই পদার্থ বিজ্ঞানের কাজ। অধ্যয়নের সুবিধার জন্য পদার্থ বিজ্ঞানকে নিম্নলিখিত ছয়ভাগে ভাগ করা হয়।

(1) **সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান** (General Physics), (2) **শব্দ-বিজ্ঞান** (Sound), (3) **তাপ-বিজ্ঞান** (Heat), (4) **আলোক-বিজ্ঞান** (Light), (5) **চুম্বক-বিজ্ঞান** (Magnetism) এবং (6) **তড়িৎ-বিজ্ঞান** (Electricity)।

পদার্থের বিভিন্ন অবস্থা ও উহার গঠনতত্ত্ব :

পদার্থ তিন রকম অবস্থায় থাকিতে পারে। যথা, (1) **কঠিন**, (2) **তরল** বা (3) **বায়বীয়**। একখণ্ড বরফের টুকরাকে বলা যাইতে পারে জলের কঠিন অবস্থা। আবার উহাকে তাপ প্রয়োগে জলে পরিণত করিলে বলা যাইবে জলের তরল অবস্থা। ঐ জলকে আরও বেশী উত্তপ্ত করিলে যখন বাষ্প উঠিতে থাকিবে তখন ঐ বাষ্পকে জলের বায়বীয় অবস্থা বলা যাইবে। কাজেই দেখা যাইতেছে যে একই পদার্থ কঠিন, তরল বা বায়বীয়, এই তিন রকমের অবস্থা গ্রহণ করিতে পারে।

যে-কোন অবস্থাতেই থাকুক না কেন, পদার্থের মূল গঠনতত্ত্ব অভিন্ন। অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা পদার্থ গঠিত। এই ক্ষুদ্র কণাগুলিকে বলা হয় **অণু** (molecule)। অণুগুলির বৈশিষ্ট্য এই যে, উহারা যে-পদার্থের অংশ তাহার ধর্ম (properties) অক্ষুণ্ণ রাখে এবং স্বতন্ত্রভাবে (free state-এ) থাকিতে পারে। এই অণুগুলি আবার আরও ক্ষুদ্রতর কণিকাদ্বারা গঠিত। ইহাদের নাম **পরমাণু** (atoms)। পরমাণু স্বতন্ত্রভাবে থাকিতে পারে না, কিন্তু রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে। একই রকম পরমাণু দ্বারা গঠিত যে-পদার্থ তাহাকে বলা হয় **মৌল** (element) এবং দুই বা দুই-এর অধিক মৌলের সংমিশ্রণে যে-পদার্থের সৃষ্টি হয় তাহাকে বলা হয় **যৌগ**

(compound)। উদাহরণ স্বরূপ হাইড্রোজেন ও জলের কথা বলা যাইতে পারে। রাসায়নিক বিশ্লেষণের ফলে দেখা গিয়াছে যে হাইড্রোজেন অণুতে একই রকমের পরমাণু বর্তমান কিন্তু জলের প্রত্যেক অণু হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন পরমাণু দ্বারা গঠিত। কাজেই হাইড্রোজেন বা অক্সিজেনকে বলা হয় মৌল এবং জলকে বলা হয় যৌগ। রাসায়নিকেরা পরীক্ষা করিয়া দেখিয়াছেন যে এই বিশ্বে প্রায় 100 রকমের মৌল আছে। ইহাদের ভিতর হাইড্রোজেন সর্বাপেক্ষা হাল্কা ও ইউরেনিয়াম সর্বাপেক্ষা ভারী মৌল। এই ধরনের প্রায় 100 রকমের মৌলের বিভিন্ন সংমিশ্রণে যৌগের সৃষ্টি। এই পৃথিবীতে যদিও বহু রকমের পদার্থ দেখিতে পাওয়া যায়, তথাপি তাহাদের গঠনের মূলে আছে মাত্র 100 রকমের মৌল।

আধুনিক বিজ্ঞান অনুযায়ী পরমাণু পদার্থের ক্ষুদ্রতম অবস্থা নয়। পরমাণুকে ভাঙ্গিয়া আরও ক্ষুদ্রতর কণিকা পাওয়া যায়। এই কণাগুলি ঋণাত্মক (negative) তড়িৎযুক্ত। ইহাদের বলা হয় **ইলেকট্রন** (electron)।

পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি একটি ধনাত্মক (positive) তড়িৎযুক্ত কেন্দ্রকে (nucleus)-কে প্রদক্ষিণ করিয়া সর্বদা ঘুরিতেছে। এই কেন্দ্রকটি গঠিত হইয়াছে প্রোটন, নিউট্রন প্রভৃতি অতি সূক্ষ্ম কণাদ্বারা। পরমাণুর গঠন প্রণালীকে সৌরজগতের গঠন-প্রণালীর সহিত তুলনা করা যাইতে পারে। কেন্দ্রককে বলা যাইতে পারে সূর্য এবং ঘূর্ণমান ইলেকট্রনগুলি গ্রহের সঙ্গে তুলনা করা যাইতে পারে।

পদার্থের কয়েকটি সাধারণ ধর্ম ঃ

পদার্থ যে-কোন অবস্থাতেই থাকুক না কেন উহার কতকগুলি সাধারণ ধর্ম আছে। যেমন—

(1) **মহাকর্ষ বা সার্বভৌম আকর্ষণ** (Gravitational or Universal attraction) ঃ যে-কোন দুইটি বস্তুকণা পরস্পরকে আকর্ষণ করে। পৃথিবী ও সূর্যের ভিতর এই আকর্ষণ বর্তমান—যাহার ফলে সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবী ঘুরিতেছে। যখন ফল পাকিয়া বোঁটা হইতে খসিয়া পড়ে তখন পৃথিবীর আকর্ষণে ফলটি মাটিতে পড়ে। চন্দ্র-সূর্যের আকর্ষণের ফলেই সাগর-জলে জোয়ার-ভাঁটার সৃষ্টি হয়। এই আকর্ষণের ফলেই প্রত্যেক

বস্তুর ওজন পরিলক্ষিত হয়। এই আকর্ষণকে বলা হয় মহাকর্ষ বা সার্বভৌম আকর্ষণ।

(2) **বিস্তৃতি** (Extension): প্রত্যেক পদার্থখণ্ড কিছু জায়গা দখল করিয়া থাকে। ইহাকে পদার্থের বিস্তৃতি বলা হয়। পদার্থখণ্ড যে-পরিমাণ জায়গা দখল করে তাহাকে বলা হয় ঐ বস্তুর **আয়তন** (volume)। প্রত্যেক বস্তুর নিজস্ব আয়তন আছে।

(3) **অভেদ্যতা** (Impenetrability): যে-কোন দুইটি পদার্থখণ্ড একই সময়ে একই জায়গা দখল করিয়া থাকিতে পারে না। ইহাকে পদার্থের অভেদ্যতা বলা হয়। যখন দেওয়ালে পেরেক পোঁতা হয় তখন মনে হয় পেরেক দেওয়াল ভেদ করিতেছে। প্রকৃতপক্ষে যখন পেরেক ভিতরে ঢোকে তখন সেই জায়গা হইতে সিমেণ্ট, চুন প্রভৃতি সরিয়া গিয়া পেরেক যাইবার জন্য পথ করিয়া দেয়।

(4) **বিভাজ্যতা** (Divisibility): প্রত্যেক পদার্থখণ্ডকে উহার ধর্ম অক্ষুণ্ণ রাখিয়া ছোট ছোট অংশে ভাগ করা যায়। ইহাকে পদার্থের বিভাজ্যতা বলে। যেমন, এক টুকরা খড়ি লইয়া শ্লেটের উপর লিখিলে উহা ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র খড়ির কণায় বিভক্ত হইয়া যায়।

(5) **সংসক্তি** (Cohesion) **ও আসঞ্জন** (Adhesion): একটি পদার্থখণ্ডের ভিতর যে বহুসংখ্যক অণু বর্তমান, উহারা সর্বদা পরস্পরকে আকর্ষণ করে। একই পদার্থের অণুগুলির পারস্পরিক আকর্ষণকে বলা হয় সংসক্তি। এই সংসক্তির ফলে কঠিন পদার্থ উহার আকার বজায় রাখে। তরল পদার্থের বেলাতে সংসক্তির পরিমাণ খুব কম। তাই তরল পদার্থের নিজস্ব কোন আকার নাই। গ্যাসের বেলাতে সংসক্তির পরিমাণ আরো কম।

দুইটি বা দুই-এর বেশী বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলির পারস্পরিক আকর্ষণকে বলা হয় আসঞ্জন। এই আসঞ্জনের ফলে ঝালাই (soldering) করা সম্ভব হয়। কাচকে জলে ডুবাইলে এই আসঞ্জনের ফলে জলকণাকে কাচের গায়ে আটকাইয়া থাকিতে দেখা যায়।

(6) **সচ্ছিদ্রতা** (Porosity): প্রত্যেক বস্তুই সূক্ষ্ম সূক্ষ্ম ছিদ্র সমন্বিত। একখণ্ড ব্লটিং কাগজ কালির উপর চাপিয়া ধরিলে কালি শুষিয়া নেয়, কারণ, কালি ব্লটিং কাগজের অসংখ্য ছিদ্র দিয়া ঢুকিয়া পড়ে। তেমনি একখণ্ড ইট, স্পঞ্জ, চামড়া, কাঠকয়লা প্রভৃতি ভালভাবে পরীক্ষা করিলে এই ছিদ্র

লক্ষিত হইবে। অনেক সময় এই ছিদ্র এত সূক্ষ্ম হয় যে অণুবীক্ষণ যন্ত্রেও তাহা ধরা পড়ে না। এই ধরনের সূক্ষ্ম ছিদ্রকে বলা হয় আন্তরাণবিক (inter-molecular) ছিদ্র। এই ব্যাপারকে বলা হয় পদার্থের সচ্ছিদ্রতা।

(7) **জাড্য** (Inertia) : যে-কোন বস্তু আপনা হইতে উহার অবস্থার পরিবর্তন করিতে অক্ষম। যদি উহা স্থির থাকে তাহা হইলে উহা চিরদিন স্থির থাকিবে। আর যদি গতিশীল হয়, তাহা হইলে চিরকাল গতিশীল থাকিবে। ইহাকে পদার্থের জাড্য বলে। বস্তুর ভর (mass) অর্থাৎ বস্তুতে যে-পরিমাণ জড় পদার্থ বর্তমান তাহাই জাড্যের পরিমাপ।

(8) **স্থিতিস্থাপকতা** (Elasticity) : একখণ্ড রবারকে একটু চাপ দিয়া বলপ্রয়োগ করিলে রবারটির আকার পরিবর্তিত হয়। কিন্তু চাপ সরাইয়া লইলে রবারটি আবার আগেকার আকারে ফিরিয়া আসে। রবারের এই ধর্মকে বলা হয় স্থিতিস্থাপকতা। এই ধর্ম শুধু রবারে নয়, প্রত্যেক পদার্থেই বর্তমান, কিন্তু কম বা বেশী মাত্রায়।

শক্তি এবং ইহার বিভিন্ন রূপ (Energy and its different forms) : কাজ করিবার সামর্থ্যকে শক্তি বলে। শক্তিকে মোটামুটি সাত ভাগে ভাগ করা যাইতে পারে। যথা :

(1) **যান্ত্রিক শক্তি** (Mechanical energy), (2) **তাপ শক্তি** (Heat energy), (3) **আলোক শক্তি** (Light energy), (4) **শব্দ শক্তি** (Sound energy), (5) **চৌম্বক শক্তি** (Magnetic energy), (6) **তড়িৎ শক্তি** (Electric energy), (7) **রাসায়নিক শক্তি** (Chemical energy)।

শক্তির রূপান্তর (Transformation of energy) :

উপরোক্ত সাত প্রকার শক্তি পরস্পরের সহিত সম্বন্ধযুক্ত, অর্থাৎ যে-কোন একটা হইতে অন্যটায় রূপান্তর সম্ভব। প্রকৃতপক্ষে প্রায় প্রত্যেক প্রাকৃতিক ঘটনাই শক্তির রূপান্তর বলিয়া ধরা যাইতে পারে এবং তাহার ফলে আমরা বিচিত্র প্রাকৃতিক লীলা দেখিতে পাই। নিম্নে এই রূপান্তরের কয়েকটি সহজ দৃষ্টান্ত দেওয়া হইল।

জল উচ্চস্থান হইতে নিম্নদিক প্রবাহিত হয়। উচ্চস্থানে থাকাকালীন জলের স্থিতি-শক্তি নিম্নদিকে যাইবার সময় গতি-শক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং জলের এই গতি-শক্তিকে কাজে লাগাইয়া তড়িৎ-শক্তি সৃষ্টি করা হয়।

যখন বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেণ্টের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চালিত হয় তখন আমরা আলো পাই। এস্থলে বৈদ্যুতিক শক্তি আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে।

স্টীম এঞ্জিনে তাপের সাহায্যে স্টীম উৎপন্ন করিয়া রেলগাড়ী চালানো হয়। এস্থলে তাপশক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে।

এইরূপ বিভিন্ন দৃষ্টান্ত দ্বারা দেখানো যাইতে পারে যে, একপ্রকার শক্তির অন্য যে কোন প্রকার শক্তিতে রূপান্তর সম্ভব।

শক্তির নিত্যতা (Conservation of energy) **:**

শক্তি যখন এক রূপ হইতে অন্য রূপে পরিবর্তিত হয় তখন শক্তির কোন ক্ষয় হয় না। এক বস্তু যে-পরিমাণ শক্তি হারাইবে অন্য বস্তু ঠিক সেই পরিমাণ শক্তি লাভ করিবে। প্রকৃতপক্ষে আমরা **কোন নতুন শক্তি সৃষ্টি করিতে পারি না বা শক্তি ধ্বংসও করিতে পারি না।** বিজ্ঞানীগণ বিশ্বাস করেন যে, এই বিশ্ব সৃষ্টির প্রথম দিন যে পরিমাণ শক্তি ছিল আজও সেই পরিমাণ শক্তি বর্তমান। এই সূত্রকে **শক্তির নিত্যতা** বলে।

— —

সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান

[GENERAL PHYSICS]

প্রথম পরিচ্ছেদ

মাপের একক ও পদ্ধতি

[Units and methods of measurement]

1-1. প্রাকৃতিক রাশি (Physical quantities) :

রাশি (Quantity) বলিতে এমন জিনিস বুঝায় যাহার পরিমাপ সম্ভব, যেমন, একটি কাঠের টুকরার ওজন আছে আমরা বুঝিতে পারি এবং তুলা (balance) দ্বারা সেই ওজন মাপিতে পারি। কাজেই বস্তুর ওজনকে বলা হয় একটি রাশি। কোন ঘটনা কিছু সময় ধরিয়া ঘটিলে ঘড়ির সাহায্যে আমরা সেই সময় মাপিতে পারি। কাজেই 'সময়'কে আমরা বলিব একটি রাশি। পদার্থ বিজ্ঞান অধ্যয়নকালে এইরূপ বহু রাশির কথা আমরা জানিতে পারি। যেমন—ভর, দৈর্ঘ্য, গতিবেগ, ত্বরণ (acceleration), তড়িৎস্রোত ইত্যাদি। পদার্থ বিজ্ঞানের অন্তর্গত এই রাশিগুলিকে প্রাকৃতিক রাশি বলা হয়। এই প্রাকৃতিক রাশিকে দুই ভাগে ভাগ করা হইয়াছে।

(1) **স্কেলার** (Scalar) রাশি এবং (2) **ভেক্টর** (Vector) রাশি। যে-সমস্ত রাশির শুধু মান (magnitude) আছে কিন্তু দিক্‌নির্দেশের (direction) প্রয়োজন নাই তাহাদের স্কেলার রাশি বলে। যেমন, বস্তুর ভর। বস্তুর ভর বুঝাইতে গেলে কতখানি ভর শুধু তাহা বলিলেই হয়; দিক্‌নির্দেশের কোন অর্থ নাই—সেইজন্য ভর একটি স্কেলার রাশি। তেমনি সময়, আয়তন প্রভৃতি স্কেলার রাশির উদাহরণ।

যে-সমস্ত রাশির মান এবং দিক্‌নির্দেশ দুই-এরই প্রয়োজন তাহাকে বলা হয় ভেক্টর রাশি। বস্তুর ওজন একটি ভেক্টর রাশি। কারণ ওজন বলিতে আমরা বুঝি,—যে-বলের দ্বারা বস্তুটি পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে আকর্ষিত হইতেছে তাহা। কাজেই ওজনের একটি নির্দিষ্ট দিক্ (direction) আছে। তেমনি বল, বেগ (velocity) প্রভৃতি ভেক্টর রাশির উদাহরণ।

1-2. মাপের একক (Units of measurement) :

কোন একটি রাশির পরিমাপ বুঝাইতে গেলে তাহার একটি সুবিধাজনক পরিমাণকে নির্দিষ্ট মান (standard) ধরিয়া সমপ্রকার রাশির মাপ লওয়া হয়। ঐ নির্দিষ্ট মানকে মাপের **একক** (unit) বলা হয়। যেমন, যদি বলা

হয় একটি ঘর 20 ফুট লম্বা তাহা হইলে সহজেই ঘরটির দৈর্ঘ্য সম্বন্ধে ধারণা হয়। এখানে দৈর্ঘ্য একটি রাশি এবং ইহার পরিমাপের জন্য 'ফুট'-কে একক হিসাবে ধরা হইয়াছে।

যদি বলা হয় আমি অনেক চাউল কিনিলাম তাহা হইলে কতটা চাউল সে-সম্বন্ধে কিছুই বোঝা যায় না। কিন্তু যদি বলি 20 কিলোগ্রাম চাউল কিনিলাম, তাহা হইলে তৎক্ষণাৎ চাউলের পরিমাণ বোঝা যায়। এখানে কিলোগ্রামকে একক হিসাবে ব্যবহার করিয়া চাউলের **ভর**-কে (mass) বুঝানো হইল।

তেমনি, যদি বলা হয় ট্রেনটি বোম্বাই হইতে কলিকাতা পৌছিতে অনেক সময় লইতেছে, তাহা হইলে **সময়** সম্বন্ধে সঠিক কিছু বলা হইল না। সঠিক বলিতে হইলে বলিতে হইবে 30 ঘণ্টা কি 40 ঘণ্টা ইত্যাদি। অর্থাৎ সময়ের পরিমাপ করিতে একক হিসাবে এখানে ঘণ্টাকে ব্যবহার করা হইল।

এইভাবে দেখা যায় যে প্রত্যেক রাশির পরিমাপের জন্য এক একটি এককের প্রয়োজন। তাহা হইলে প্রশ্ন উঠিবে যে, পদার্থ বিজ্ঞানে ত' হাজার হাজার রাশির কথা আছে। উহাদের কি হাজার হাজার একক আছে? কিন্তু সৌভাগ্যক্রমে দেখা গিয়াছে যে রাশি অসংখ্য হইলেও, মাত্র তিনটি রাশির একক ঠিক করিয়া লইলে বাকী সব রাশির একক উহা হইতেই পাওয়া যাইবে। এই তিনটি রাশি হইল, (1) **দৈর্ঘ্য**, (2) **ভর** এবং (3) **সময়**। এই তিনটি রাশির একক পরস্পরের উপর নির্ভরশীল নহে। ইহাদের 'একক'কে বলা **প্রাথমিক** (fundamental) একক। অন্যান্য রাশির একক—যাহা প্রাথমিক একক হইতে পাওয়া যায়—তাহাদের বলা হয় **লব্ধ** (derived) একক।

1-3. এককের বিভিন্ন পদ্ধতি (Systems of units) :

উপরের তিনটি প্রাথমিক একককে প্রকাশ করিবার দুইটি পদ্ধতি আছে।

(1) **সি. জি. এস্.** অথবা ফ্রেঞ্চ অথবা মেট্রিক পদ্ধতি (C. G. S. or French or Metric System)।

এখানে 'সি' শব্দটি বুঝাইতেছে সেন্টিমিটার→দৈর্ঘ্যের একক।

'জি' ,, ,, গ্র্যাম →ভরের একক।

'এস ,, ,, সেকেণ্ড→সময়ের একক।

(2) এফ. পি. এস্. অথবা বৃটিশ পদ্ধতি (F. P. S. or British system)

এখানে,

'এফ্' শব্দটি বুঝাইতেছে ফুট→দৈর্ঘ্যের একক।

'পি' „ „ পাউণ্ড→ভরের একক।

'এস্' „ „ সেকেণ্ড→সময়ের একক।

এই পদ্ধতি বিশেষ করিয়া বৃটিশ সাম্রাজ্যে ব্যবহৃত হয় এবং আংশিক ভাবে আমাদের দেশেও চালু আছে।

(৪) উপরোক্ত দুইটি বিশেষ প্রচলিত পদ্ধতি ছাড়া আর একটি পদ্ধতি আজকাল ব্যবহৃত হইতেছে। ইহাকে এম. কে. এস্ (M K S) পদ্ধতি বলে। এই পদ্ধতি অনুযায়ী

'এম্' শব্দটি বুঝাইতেছে মিটার→ দৈর্ঘ্যের একক।

'কে' „ „ কিলোগ্রাম→ ভরের একক।

'এস্' „ „ সেকেণ্ড → সময়ের একক।

পরিমাপের এই বিশেষ পদ্ধতিটি আমেরিকায় বহুল ব্যবহৃত হইতেছে। ইহার কয়েকটি বিশেষ সুবিধা আছে।

14. দৈর্ঘ্যের একক :

সেন্টিমিটার : সি জি এস পদ্ধতি অনুযায়ী দৈর্ঘ্যের একক হইল সেন্টিমিটার।

ফ্রান্সের আন্তর্জাতিক বুরো অব ওয়েটস অ্যাণ্ড মেজারস্-এ (International Bureau of Weights & Measures) রক্ষিত একটি প্লাটিনাম-ইরিডিয়াম দণ্ডের (যাহার তাপমাত্রা 0 সেন্টিগ্রেড) উপর দুইটি নির্দিষ্ট দাগের অন্তর্বর্তী দূরত্বকে বলা হয় এক **মিটার** (Metre) সেন্টিমিটার হইল মিটারের একশত ভাগের একভাগ। ছোট ছোট দৈর্ঘ্য বা খুব বড় দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য সেন্টিমিটারের ভগ্নাংশ এবং গুণিতাংশ করা হইয়াছে। এখানে তাহার হিসাব দেওয়া হইল। এই ভগ্নাংশ বা গুণিতাংশ লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে ইহারা সর্বদা দশ ভাগ বা দশ গুণ। সি জি এস্ পদ্ধতির ইহা একটি বিশেষ সুবিধা।

10 মিলিমিটার [মি. মি.] (mm.) = 1 সেন্টিমিটার [সে. মি.] (cm).
10 সেন্টিমিটার = 1 ডেসিমিটার
10 ডেসিমিটার = 1 মিটার (মি.) (m).
10 মিটার = 1 ডেকামিটার
10 ডেকামিটার = 1 হেক্টোমিটার
10 হেক্টোমিটার = 1 কিলোমিটার (কি. মি.) (km).

ফুট ঃ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী দৈর্ঘ্যের একক হইল ফুট।

লণ্ডনের বৃটিশ এক্সচেকারের (British Exchequer) অফিসে রক্ষিত একটি ব্রোঞ্জ দণ্ডের উপর (যাহার তাপমাত্রা হইল 62° ফারেনহাইট) দুইটি নির্দিষ্ট দাগের অন্তবর্তী দূরত্বকে বলা হয় এক **গজ**। এক ফুট এক গজের তিন ভাগের এক ভাগ। ছোট এবং বড় দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য ফুটের যে-ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ করা হইয়াছে, তাহা এইরূপ :–

1 মাইল = 1760 গজ
1 গজ = 3 ফুট
1 ফুট = 12 ইঞ্চি

ইহা ছাড়া 'ফার্লং' (Furlong) নামক একটি এককও ব্যবহৃত হয়।

1 ফার্লং = 220 গজ
8 ফার্লং = 1 মাইল।

দৈর্ঘ্যের এককের দুই পদ্ধতির পারস্পরিক সম্বন্ধ ঃ

দৈর্ঘ্য প্রকাশের যে বিভিন্ন এককের কথা বলা হইল তাহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ এইরূপ :--

1 ইঞ্চি = 2·54 সেন্টিমিটার (সে. মি.)
1 ফুট = 30·48 ,, (প্রায়)
1 গজ = 3 ফুট = 91·44 সেন্টিমিটার

$$= \frac{91·44}{100} \text{ মিটার} = ·9144 \text{ মিটার।}$$

অথবা,

1 সেন্টিমিটার = ·3971 ইঞ্চি = ·0328 ফুট।

1 মিটার = 1 09363 গজ = 39·37 inches.

উদাহরণ : একটি 500 গজের রাস্তাকে বর্ধিত করিয়া 500 মিটার করিতে হইবে। রাস্তাটি কতখানি বাড়াইতে হইবে তাহা গজ-ফুটে নির্ণয় কর।

[A 500 yard track has to be extended to 500 metres. Find in yards and feet the elongation necessary.]

উঃ। আমরা জানি, 1 metre = 1·09363 yds.

∴ 500 metres = 546·815 ,,

অর্থাৎ 500 গজের রাস্তাকে বর্ধিত করিয়া 546·815 yds করিতে হইবে; সুতরাং রাস্তাটি যে-পরিমাণ বাড়াইতে হইবে তাহা = (546·815 − 500) yds.

= 46·815 yds.

= 46 yds. 2 ft. 5 inches.

1-5. ক্ষেত্রফল ও আয়তনের একক (Units of area and volume)—(লব্ধ একক) :

ক্ষেত্রফল ও আয়তনের একক আমরা দৈর্ঘ্যের একক হইতে গঠন করিতে পারি। এই কারণে এই দুইটি রাশির একককে **লব্ধ একক** বলা হইবে।

বর্গক্ষেত্রের একক :

যে-বর্গক্ষেত্রের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ উভয়ই এক সেন্টিমিটার লম্বা উহার ক্ষেত্রফল হইল সি. জি. এস্ পদ্ধতি অনুযায়ী বর্গক্ষেত্রের একক এবং উহার নাম 1 বর্গ সেন্টিমিটার (1 sq. cm.)।

তেমনি এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী বর্গক্ষেত্রের একক হইল এক বর্গফুট (1 sq. ft.)।

আয়তনের একক :

যে ঘন আয়তনের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা প্রত্যেকটি 1 সেন্টিমিটার উহার আয়তনকে সি. জি. এস্ পদ্ধতি অনুযায়ী আয়তনের একক বলা হয়। ইহার নাম এক ঘন সেন্টিমিটার (1 cubic centimetre বা 1 c.c.)

তেমনি যে ঘন আয়তনের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা প্রত্যেকটি 1 ফুট উহার আয়তনকে এফ্. পি. এস্ পদ্ধতি অনুযায়ী আয়তনের একক বলা হয়। ইহাকে বলা হয় এক ঘন ফুট (1 cubic foot অথবা 1 c. ft.)।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে **'লিটার'** (litre) নামক আর একটি এককের দ্বারা আয়তনকে প্রকাশ করা হয়। বিশেষত তরল পদার্থের বেলায় এই একক ব্যবহৃত হয়।

1 লিটার = 1000 ঘন সেন্টিমিটার।

কাজেই, 1 millilitre (ml) = 1 c.c.

তেমনি, এফ্ পি এস্ পদ্ধতিতে তরলের আয়তন প্রকাশ করিবার জন্য **'গ্যালন'** (gallon) একক ব্যবহৃত হয়।

1 গ্যালন = 62 F তাপমাত্রায় 10 lb জলের আয়তন।

1 গ্যালন = 4 54 লিটার।

1-6. ভরের একক :

বস্তুর ভর বলিতে ঐ বস্তুতে কতটা পরিমাণ জড় পদার্থ (matter) আছে, তাহাই বুঝায়। যেমন, একটি লোহার বলে যতখানি লোহা আছে তাহাই বলটির ভর। সি জি এস্ পদ্ধতি অনুসারে ভরের একক হইল **গ্রাম**। প্যারিসে রক্ষিত একটি প্লাটিনাম ইরিডিয়াম খণ্ডের ভরকে বলা হয় **কিলোগ্র্যাম**। গ্র্যাম এক কিলোগ্র্যামের হাজার ভাগের এক ভাগ।

, সাধারণভাবে এক ঘন সেন্টিমিটার জলকে 4° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় রাখিলে উহার ভরকে এক গ্র্যাম ধরা হয়।

নিম্নে গ্র্যামের ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ দেওয়া হইল :

10 মিলিগ্র্যাম (mgm)	= 1 সেন্টিগ্র্যাম
10 সেন্টিগ্র্যাম	= 1 ডেসিগ্র্যাম
10 ডেসিগ্র্যাম	= 1 গ্র্যাম (gm)
10 গ্র্যাম	= 1 ডেকাগ্র্যাম
10 ডেকাগ্র্যাম	= 1 হেক্টোগ্র্যাম
10 হেক্টোগ্র্যাম	= 1 কিলোগ্র্যাম (kgm)

এফ্ পি এস্ পদ্ধতি অনুযায়ী ভরের একক হইল **পাউণ্ড** (lb)।

ওয়েস্টমিনস্টারে স্ট্যাণ্ডার্ড অফিসে রক্ষিত একখণ্ড প্লাটিনামের ভরকে এক পাউণ্ড ধরা হয়।

এফ. পি এস পদ্ধতিতে ভরের অন্যান্য যে সমস্ত একক প্রচলিত আছে তাহা নিম্নে বলা হইল—

16 ড্রাম	=	1 আউন্স (oz.)
16 আউন্স	=	1 পাউণ্ড
28 পাউণ্ড	=	1 কোয়ার্টার
4 কোয়ার্টার	=	1 হন্দর (cwt)
20 হন্দর	=	1 টন
কাজেই, 1 টন	=	20 × 4 × 28 = 2240 পাউণ্ড।

ভারতীয় পরিমাপ অনুযায়ী 1 সের ভর 930 গ্র্যাম অর্থাৎ ·93 kilogram-এর সমান।

গ্র্যাম ও পাউণ্ডের পারস্পরিক সম্বন্ধ :

মনে রাখিবে, 1 পাউণ্ড = 453·59 গ্র্যাম।

1 কিলোগ্র্যাম = 2·204 পাউণ্ড।

উদাহরণ : এক সের অপেক্ষা এক কিলোগ্র্যাম কতটা ভারী নির্ণয় কর। 40 seers = 82·2 lbs এবং 1 lb = 453·6 gms.

[How much heavier is a kilogram than a seer, if 40 seers weigh 82·2 lbs and 1 lb weighs 453·6 gms.]

[*H. S. Exam. 1963*]

উঃ। 40 সের = 82·2 পাউণ্ড

= 82·2 × 453·6 gms.

= 37285·92 gms.

= 37·28 kilo gms.

অর্থাৎ, 37·28 kilo = 40 seers.

$$1 \text{ kilo } \frac{40}{37\cdot28} = 1\cdot07 \text{ seers}$$

অর্থাৎ 1 সের হইতে 1 kilo যতখানি ভারী তাহা

1·07 − 1 = 0·07 kilo

= 70 gms.

1-7. মেট্রিক বা দশমিক (Decimal) পদ্ধতির সুবিধা :

সি. জি. এস বা মেট্রিক পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য বা ভরের একক লক্ষ্য করিলে দেখিতে পাইবে যে, যে-কোন একক তার পরবর্তী নিম্ন এককের দশগুণ বা তাহার অগ্রবর্তী উচ্চ এককের দশ ভাগের এক ভাগ। এই কারণে মেট্রিক পদ্ধতিকে **দশমিক** পদ্ধতিও বলা হয়। এই পদ্ধতির একটি মস্ত সুবিধা যে এক একক হইতে অন্য এককে যাইতে হইলে দশমিক বিন্দু সরাইলেই চলিবে, গুণ বা ভাগের প্রয়োজন নাই। যেমন, 593·21 মিটার = 59321 সেন্টিমিটার = 0·59321 কিলোমিটার ইত্যাদি। কিন্তু এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে এই সুবিধা নাই। যেমন 3 গজ = 3 × 3 = 9 ফুট = 9 × 12 = 108 ইঞ্চি = $\frac{3}{1760}$ মাইল ইত্যাদি। তাছাড়া দৈর্ঘ্য, আয়তন ও ভরের একক মেট্রিক পদ্ধতিতে

সুবিধাজনকভাবে সংশ্লিষ্ট। যথা, [1 ঘন সেন্টিমিটার জলের ওজন 1 গ্র্যাম; কিন্তু 1 ঘনফুট জলের ওজন 1 পাউণ্ড নয়, 62·5 পাউণ্ড]।

এই সকল কারণে পৃথিবীর প্রায় সর্বত্র দশমিক পদ্ধতি ব্যবহৃত হইতেছে। আমাদের দেশে বিগত 1957 খ্রীষ্টাব্দের এপ্রিল মাস হইতে দশমিক পদ্ধতিতে মুদ্রা প্রচলিত হইয়াছে এবং 1961 খ্রীষ্টাব্দে ওজনও দশমিক পদ্ধতিতে প্রচলিত হইয়াছে।

উদাহরণ ঃ

একজন ক্রেতা বাজারে গিয়া দোকানদারের নিকট 20 সের চাউল, 5 গ্যালন তেল এবং 8 গজ কাপড চাহিল। ভুলক্রমে দোকানদার তাহাকে 20 কিলো চাউল, 20 লিটার তেল এবং 8 মিটার কাপড় দিল। কোন্ ক্ষেত্রে দোকানদারের লাভ এবং কোন্ ক্ষেত্রে ক্ষতি হইল মেট্রিক পদ্ধতিতে উহা নির্ধারণ কর।

[A person went to the market and asked the salesman to give him 20 seers of rice, 5 gallons of oil and 8 yards of cloth. Due to mistake the salesman gave him 20 kilos of rice, 20 litres of oil and 8 metres of cloth. Calculate the gain or loss of the salesman in each case and express the result in metric system.]

উঃ। 1 সের = 0·93 কিলো

∴ 20 সের = 0·93 × 20 = 18·6 kilo

কাজেই চাউলের ক্ষেত্রে দোকানদারের লোকসান হইল (20 − 18·6) = 1·4 কিলো।

1 গ্যালন = 4·54 লিটার

∴ 5 গ্যালন = 4·54 × 5 = 22·7 লিটার

কাজেই, তেলের ক্ষেত্রে দোকানদারের লাভ হইল (22·7 − 20) = 2·7 লিটার।

1 গজ = 0·91 মিটার

∴ 8 গজ = 0·91 × 8 = 7·28 মিটার

কাজেই কাপড়ের ক্ষেত্রে দোকানদারের ক্ষতি হইল (8 − 7·28) = 0·72 মিটার।

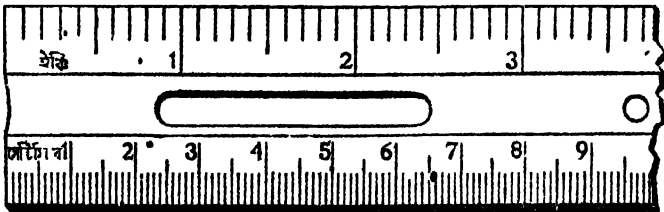
1-8. সময়ের একক ঃ

এফ্. পি. এস্. ও সি. জি. এস্ উভয় পদ্ধতিতে সময়ের একক গড় সৌর সেকেণ্ড (mean solar second) বা সংক্ষেপে, **'সেকেণ্ড'**। সূর্য পর পর কোনও স্থানের মধ্যরেখাকে (meridian) দুইবার অতিক্রম করিতে যে সময় নেয় তাহাকে এক **সৌরদিন** (solar day) বলা হয়। কয়েকটি কারণে বৎসরের সব সময় এই সৌরদিন ঠিক সমান থাকে না, একটু করিয়া পরিবর্তন করে। এক বৎসরে গড় লইলে যাহা হয় তাহাকে **গড় সৌরদিন** (mean solar day) বলে। এই গড় সৌরদিনের 24 ভাগের এক ভাগকে বলা হয় এক ঘণ্টা এবং ঘণ্টার 60 ভাগের এক ভাগকে বলা হয় এক মিনিট এবং মিনিটের 60 ভাগের এক ভাগকে বলা হয় এক সেকেণ্ড। অর্থাৎ, 24 ঘণ্টা = 1 গড় সৌরদিন। 60 মিনিট = 1 ঘণ্টা। 60 সেকেণ্ড = 1 মিনিট। অথবা, 1 সেকেণ্ড = $\frac{1}{24 \times 60 \times 60} = \frac{1}{86400}$ গড় সৌরদিন।

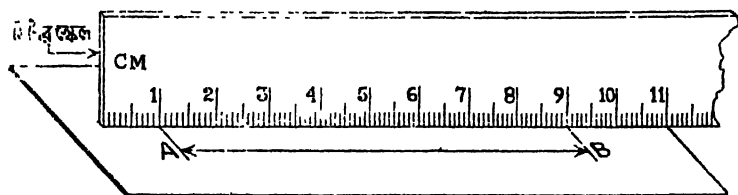
দৈর্ঘ্য, ভর এবং সময়ের পরিমাপ
(Measurement of length, mass and time)

1-9. দৈর্ঘ্যের পরিমাপ ঃ

সাধারণত দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য আমরা যে যন্ত্র ব্যবহার করি উহার নাম স্কেল। একটি এক মিটার লম্বা কাঠের পাতের কিনারে সেন্টিমিটার এবং

স্কেল
চিত্র 1ক

সেন্টিমিটারের ভগ্নাংশে মিলিমিটার দাগ কাটা এবং উপপার্শে ইঞ্চি এবং ইঞ্চির দশমাংশে দাগ কাটা যন্ত্রের নাম স্কেল (1ক নং চিত্র)। স্কেলে অনেক সময় শুধু সেন্টিমিটারে ও মিলিমিটারে দাগ কাটা থাকে। তখন উহাকে বলা হয় **মিটার স্কেল**। আবার শুধু ইঞ্চি এবং ইঞ্চির দশমাংশে দাগ কাটা থাকিলে তখন বলা হয় **ফুট-রুল**।

স্কেলের ব্যবহার :

ধরা যাউক, AB লাইনটির দৈর্ঘ্য স্কেল দিয়া মাপিতে হইবে। স্কেলটিকে এমনভাবে ধরিতে হইবে যে দাগ কাটা পাশটি AB লাইনটির সহিত লম্বালম্বিভাবে মিশিয়া যায়। A প্রান্তটি কোন একটি পূর্ণসংখ্যার (ধরা যাউক, 1 সেন্টিমিটার)

স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্য নির্ণয়

চিত্র 1খ

সহিত মিলাইয়া প্রান্তের পাঠ (reading) লইতে হইবে। মনে কর, B প্রান্তটি 8·9 এবং 9 সে. মি.-এর মাঝে কোথাও আছে (1খ নং চিত্র)। এইরূপ স্থলে B প্রান্তটির পাঠ লইতে গেলে চোখের আন্দাজের (eye-estimation) সাহায্যে 1 মিলিমিটারকে দশভাগে ভাগ করিয়া দেখিতে হইবে এবং ঐ হিসাবে B প্রান্তের পাঠ লইতে হইবে। ধরা যাউক, ঐ হিসাবমত B-প্রান্তের পাঠ 8·99 সে মি.।

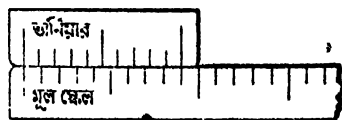
তাহা হইলে, AB লাইনটির দৈর্ঘ্য = B প্রান্তের পাঠ − A প্রান্তের পাঠ

$$= 8{\cdot}99 - 1 = 7{\cdot}99 \text{ সে. মি.।}$$

এইরূপ আরো কয়েকবার পাঠ লইয়া উহার গড় বাহির করিলে AB লাইনের দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে।

1-10. ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier Scale) :

এই যন্ত্রটি ফরাসী গণিতবিদ পি. ভার্নিয়ার আবিষ্কার করেন। ইহা দ্বারা দৈর্ঘ্যের সূক্ষ্মতর মাপ নির্ভুলভাবে করা যায়। মিটার স্কেল দ্বারা 1 মিলিমিটারের ক্ষুদ্র অংশ পাঠ করিতে চোখের আন্দাজ (eye-estimation) কাজে লাগাইতে হয়, তাহা আগেই বলা হইয়াছে। ইহাতে ভুল হইতে পারে। ঐ ভুল ভার্নিয়ার স্কেল দ্বারা দূর করা যায়। 1গ নং চিত্রে

একটি ভার্নিয়ার স্কেল দেখানো হইয়াছে। ইহাতে মূল স্কেলের (main scale) গায়ে আর একটি ক্ষুদ্র স্কেল লাগানো থাকে। উহাকেই ভার্নিয়ার বলে। ভার্নিয়ারটি মূল স্কেলের গা বাহিয়া দক্ষিণে বা বামে সরিতে পারে। ভার্নিয়ার স্কেলে যে ছোট ভাগগুলি থাকে তাহা মূল স্কেলের একটি ছোট ভাগের (অর্থাৎ 1 মি মি.)

ভার্নিয়ার স্কেল
চিত্র 1গ

চাইতে কিছু ছোট। ছবিতে দেখিতে পাওয়া যাইতেছে যে, ভার্নিয়ারের 10 দাগ মূল স্কেলের 9 দাগ অর্থাৎ 9 মি. মি.-এর সমান। সাধারণত ভার্নিয়ারে এই রকম ভাগই থাকে। এই ভার্নিয়ারের সাহায্যে কোন দৈর্ঘ্য মাপিতে গেলে প্রথমে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক (vernier constant) নির্ণয় করিতে হইবে।

ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক :

মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম এক দাগ এবং ভার্নিয়ার স্কেলের এক দাগের অন্তরফলকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক বলা হয়। ইহার দ্বারা এক মিলিমিটারের ক্ষুদ্রতর অংশকে নির্ভুলভাবে মাপা সম্ভব। 1গ নং চিত্রে বোঝা যাইতেছে যে,

10 ভার্নিয়ার ভাগ = মূল স্কেলের 9 ভাগ

$\therefore$ 1 „ „ = „ „ $\frac{9}{10}$ „

$= \frac{9}{10} \times 1 = \frac{9}{10}$ মি. মি. [1 মূল স্কেলঘর = 1 m.m.]

সুতরাং ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক $= (1 - \frac{9}{10})$ মি. মি. $= \frac{1}{10}$ মি. মি. = ·01 সে. মি.।

কাজেই দেখা যাইতেছে যে উপরোক্ত ভার্নিয়ার দ্বারা সব চাইতে ক্ষুদ্রতম যে-দৈর্ঘ্য মাপা যাইবে তাহা হইল 1 সেন্টিমিটারের 100 ভাগের 1 ভাগ অথবা 1 মি. মি.-এর 10 ভাগের 1 ভাগ।

[ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্কের সাধারণসূত্র (general formula) নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যাইতে পারে :—

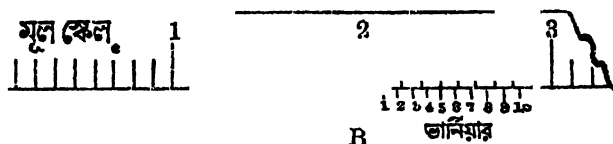
মনে কর, ভার্নিয়ারের 'm' ঘর = মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম $(m-1)$ ঘর

কাজেই, ভার্নিয়ারের 1 ঘর = মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম $\frac{m-1}{m}$ ঘর

$\therefore$ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক $= \left(1 - \frac{m-1}{m}\right) \times$ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের সমান

$= \frac{1}{m} \times$ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান।]

ভার্নিয়ারের ব্যবহার :

মনে কর, AB লাইনটির দৈর্ঘ্য ভার্নিয়ারের সাহায্যে মাপিতে হইবে। মূল স্কেলের 0 দাগটি A প্রান্তের সহিত মিলাইয়া লও। চোখে দেখিয়া বোঝা যাইতেছে যে B প্রান্তটি 2 সে. মি.-এর কিছু বেশী (1ঘ নং চিত্র)।

ভার্নিয়ারের সাহায্যে দৈর্ঘ্য নির্ণয়

চিত্র 1ঘ

চোখের আন্দাজে এই অংশটুকুর পাঠ লইলে কিছু ত্রুটি থাকিবে। ভার্নিয়ার দ্বারা ইহার নির্ভুল পাঠ সম্ভব। ইহার জন্য ভার্নিয়ারকে সরাইয়া ভার্নিয়ারের 0 দাগটি B প্রান্তের সহিত মিলাও। দেখ যে ভার্নিয়ারের 0 দাগটি মূল স্কেলের কত দাগ পার হইয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে 2 সে. মি. পার হইয়াছে। কাজেই মূল স্কেলের পাঠ হইল 2 সে. মি.। বাকী অংশটুকু পাঠ করিতে হইলে দেখ ভার্নিয়ারের কোন দাগ মূল স্কেলের যে-কোন একটি দাগের সহিত মিলিয়া গিয়াছে কি-না। ভার্নিয়ারের দাগগুলি পর পর ভালভাবে লক্ষ্য করিলেই এই মিল ধরা পড়িবে। ভার্নিয়ারের 5 দাগ মূল-স্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়াছে। এক্ষণে ভার্নিয়ারের এই 5 দাগকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক দ্বারা গুণ করিলে যাহা পাওয়া যাইবে তাহা হইল B প্রান্তের বাকী অংশটুকুর পাঠ। অর্থাৎ $5\times{\cdot}01={\cdot}05$ সে. মি. হইল বাকী অংশটুকুর নির্ভুল পাঠ।

সুতরাং AB লাইনটির দৈর্ঘ্য = মূল স্কেল পাঠ + ভার্নিয়ার পাঠ × ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক

$$=(2+5\times{\cdot}01)\text{ cm.}$$
$$=2+{\cdot}05\text{ cm.}$$
$$=2{\cdot}05\text{ cm.}$$

[লেখকের 'ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞান' এ বিস্তারিত বিবরণ দ্রষ্টব্য]।

উদাহরণ : একটি ব্যারোমিটারের ভার্নিয়ার স্কেল 20 ভাগে ভাগ করা হইয়াছে এবং ঐ 20 ভাগ মূল স্কেলের 19 ঘরের সহিত মেলে। মূল স্কেলের এক একটি ঘর 1 মি. মি.-এর সমান হইলে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক বাহির কর।

[The verniner scale of a barometer contains 20 divisions which coincide with 19 divisions of the main scale. If each of the main scale divisions is equal to 1 m. m., calculate the vernier constant.]

উত্তর : 20 ঘর ভার্নিয়ার স্কেল = 19 ঘর মূল স্কেল ।

$\therefore$ 1 " " " $= \frac{19}{20}$ " " "

$= \frac{19}{20}$ মি. মি.

সুতরাং ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক

= মূল স্কেলের এক ঘর − ভার্নিয়ার স্কেলের এক ঘর

$= (1 - \frac{19}{20})$ mm

$= \frac{1}{20}$ mm.

= ·05 mm. = ·005 cm.

1-11. ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের পরিমাপঃ

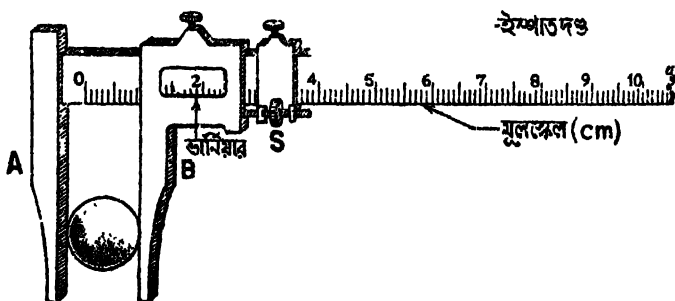
ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের পরিমাপের জন্য সাধারণত তিনটি যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। উহারা হইতেছে (1) ভার্নিয়ার অথবা স্লাইড ক্যালিপার্স, (2) স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু ও (3) স্ফেরোমিটার। কি ধরনের জিনিসের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে তাহার উপর ইহাদের যে-কোন একটির ব্যবহার নির্ভর করে। যেমন, সরু তারের ব্যাস মাপিতে স্ক্রু-গেজ সুবিধাজনক কিন্তু পাতলা পাতের বেধ (thickness) বা কোন বক্রতলের (spherical surface) বক্রতা-ব্যাসার্ধ (radius or curvature) মাপিতে স্ফেরোমিটার সুবিধাজনক। নিম্নে তিনটির বিবরণ ও কার্যপ্রণালী বলা হইল।

1·12. ভার্নিয়ার বা স্লাইড ক্যালিপার্স (Vernier or Slide callipers) :

বিবরণ : 16 নং চিত্রে একটি স্লাইড ক্যালিপার্স দেখানো হইয়াছে। মূল স্কেলটি একটি ইস্পাতের দণ্ডের উপর কাটা হইয়াছে এবং উহা সেন্টিমিটার ও মিলিমিটারে ভাগ করা। দণ্ডের যে-দিক হইতে স্কেল সুরু সেইদিকে একটি দাঁড়া (jaw) A আছে। মূল স্কেলের গা বাহিয়া একটি ভার্নিয়ার চলাফেরা করিতে পারে এবং উহাকে আস্তে আস্তে সরাইবার জন্য একটি স্ক্রু S লাগানো আছে। এই ভার্নিয়ারটির সঙ্গেও একটি দাড়া B আছে। যখন দুইটি দাঁড়া একসঙ্গে মিশিয়া থাকে তখন ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের

0-দাগের সহিত মিশিয়া যায় এবং সে-ক্ষেত্রে যন্ত্রটির কোন যান্ত্রিক ত্রুটি (Instrumental error) থাকে না। সাধারণ ক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের 10 ভাগ

স্লাইড ক্যালিপার্স

চিত্র 16

মূল স্কেলের 9 ভাগের সমান। মূল স্কেলের এক একটি ভাগ 1 মি. মি.। কাজেই ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক ·01 সে. মি.।

ব্যবহার প্রণালী : যে-জিনিসটির দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে (যেমন, একটি ক্ষুদ্র বলের ব্যাস) উহাকে দাড়া দুইটির মধ্যবর্তী স্থানে রাখিয়া ভার্নিয়ারটি আস্তে আস্তে সরাইতে হইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না দুইটি দাড়া বস্তুটির দুই পাশে আস্তে ঠেকিয়া থাকে (16 নং চিত্র)। অতঃপর ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের কত দাগ পার হইয়াছে দেখিতে হইবে এবং পরে ভার্নিয়ারের কত সংখ্যক দাগ মূল স্কেলের দাগের সহিত মিলিয়াছে তাহা ভালভাবে লক্ষ্য করিতে হইবে। ভার্নিয়ারের এই পাঠকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক দিয়া গুণ করিয়া মূল স্কেলের পাঠের সহিত যোগ করিলে বলটির ব্যাস নির্ভুলভাবে দুই দশমিক স্থান পর্যন্ত পাওয়া যাইবে।

কোন কোন ক্যালিপার্সে সে. মি. ও মি. মি.-এর পরিবর্তে ইঞ্চিতে দাগ কাটা থাকে এবং উহার স্থিরাঙ্কও তদনুযায়ী ভিন্ন হইতে পারে।

লক্ষ্য করিবার বিষয় :

ক্যালিপার্স ব্যবহার করিতে গেলে প্রথমেই লক্ষ্য করিতে হইবে যে ইহাতে যান্ত্রিক ত্রুটি (instrumontal error) আছে কি-না। অর্থাৎ, দাড়া দুইটি মিশিয়া থাকিলে মূল স্কেলের 0-দাগ ভার্নিয়ারের 0-দাগের সহিত মিশিয়াছে কি-না। না মিশিলে যান্ত্রিক ত্রুটি আছে বুঝিতে হইবে। সে-ক্ষেত্রে যদি দেখা যায় যে ভার্নিয়ারের

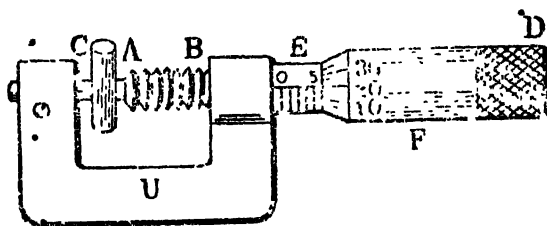
0-দাগ মূল স্কেলের 0-দাগের বামপাশে রহিয়াছে তাহা হইলে ঐ অবস্থায় ভার্নিয়ারের যে-পাঠ হইবে তাহা বস্তুটির নির্ণীত দৈর্ঘ্যের সহিত যোগ করিতে হইবে। আর যদি ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের 0-দাগের ডানদিকে থাকে তাহা হইলে ভার্নিয়ার পাঠ নির্ণীত দৈর্ঘ্য হইতে বাদ দিতে হইবে। এইভাবে যান্ত্রিক ত্রুটিপূর্ণ ক্যালিপার্স দ্বারাও প্রকৃত দৈর্ঘ্য বাহির করা যায়।

1-13. স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু (Screw Gauge or Micrometer Screw):

খুব ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য, যথা—সরু তারের ব্যাস, পাতলা পাতের বেধ (thickness) প্রভৃতি নির্ভুলভাবে মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। 1চ নং চিত্রে ইহার ছবি দেখানো হইল।

বিবরণ: AB একটি ধাতব দণ্ড যাহার উপর স্ক্রু কাটা আছে। A প্রান্তটি খুব সমতল। এই দণ্ডটি E কাপা চোঙের ভিতর দিয়া সামনে-পিছনে যাতায়াত করিতে পারে। চোঙটির উপর উহার অক্ষের (axis) সমান্তরাল একটি মিলিমিটার স্কেল কাটা আছে। যে রেখার উপর কাটা সেই রেখাটিকে মান-রেখা (reference line) বলে। চোঙটির গা বাহিয়া একটি

স্ক্রু-গেজ

চিত্র 1চ

বেষ্টনী F আছে, যাহার এক প্রান্তে একটি চক্রাকার (circular) স্কেল কাটা আছে। বেষ্টনীর অপর প্রান্তে অবস্থিত একটি টুপি (D) ঘুরাইলে বেষ্টনী ও AB দণ্ড সামনে-পিছনে চলাচল করিতে পারে। E চোঙটি একটি U-আকৃতি ইস্পাত দণ্ড দ্বারা C দণ্ডের সহিত দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে। C-দণ্ডটির যে-প্রান্ত AB দণ্ডের A প্রান্তের মুখোমুখি তাহা খুব সমতল। D টুপিটি ঘুরাইলে

E চোঙের গা বাহিয়া F বেষ্টনীর ঘূর্ণন হইবে এবং তাহার ফলে বেষ্টনী ও AB দণ্ড সোজাসুজি অগ্রসর হইবে। কাজেই E চোঙের রৈখিক (linear) স্কেল লক্ষ্য করিলে F বেষ্টনীর একবার পূর্ণ ঘূর্ণনের ফলে AB দণ্ডটি কতটা অগ্রসর হইল তাহা সহজেই জানা যাইবে।

যন্ত্রের ব্যবহার : এই যন্ত্রটি ব্যবহার করিতে গেলে সর্বপ্রথম ইহার লঘিষ্ঠ ধ্রুবক (least count) বাহির করিয়া লইতে হইবে। যন্ত্রটি নিম্নতম কত দৈর্ঘ্য মাপিতে সক্ষম তাহা উক্ত লঘিষ্ঠ ধ্রুবক হইতে জানা যায়। ইহা নির্ণয় করিতে গেলে চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের মান-রেখার সহিত মিশাইয়া স্ক্রুটি একবার পূর্ণ ঘুরাইতে হইবে। তাহাতে বেষ্টনী বা AB দণ্ড রৈখিক স্কেল বরাবর যতটা সরিয়া আসিবে তাহাকে স্ক্রু-পিচ (pitch) বলা হয়। ধরা যাউক বেষ্টনীটি রৈখিক স্কেলের 1 ঘর সরিয়া গেল। তাহা হইলে স্ক্রু-পিচ্ হইল 1 মি. মি.। এই পিচ্‌কে চক্রাকার স্কেলে মোট যে কয়টি দাগ আছে তাহা দিয়া ভাগ করিলে যন্ত্রটির লঘিষ্ঠ-ধ্রুবক পাওয়া যাইবে। অর্থাৎ,

$$\text{লঘিষ্ঠ ধ্রুবক} = \frac{\text{স্ক্রু-পিচ্}}{\text{চক্রাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা}}$$

[যদি চক্রাকার স্কেলে 100টি ভাগ থাকে এবং পিচ্ হয় 1 মি. মি. তাহা হইলে ল. ধ্রু. $= \frac{1}{100}$ মি. মি. = ·01 মি. মি. অর্থাৎ যন্ত্রটি এক মিলিমিটারের 100 ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত সঠিক মাপিতে পারিবে।]

ধরা যাউক, একটি সরু চোঙের ব্যাস মাপিতে হইবে। চোঙটিকে C এবং A প্রান্তের মাঝখানে রাখিয়া D টুপিটি আস্তে আস্তে ঘুরাইতে হইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না চোঙটির দুই পাশে A এবং C প্রান্ত ঠেকিয়া যায়। E চোঙের রৈখিক স্কেলটির সবশেষ দৃষ্ট সংখ্যা পড়। চোখে দেখা যাইতেছে (চিত্র নং 15) 5 মি.মি. পার হইয়াছে। কাজেই রৈখিক স্কেল পাঠ 5 মি. মি.। বাকী অংশটুকু চক্রাকার স্কেল হইতে পাওয়া যাইবে। তজ্জন্য লক্ষ্য কর রৈখিক স্কেলের মান-রেখার সহিত চক্রাকার স্কেলের কোন্ দাগ মিলিয়াছে। এক্ষেত্রে 20 দাগ। তাহা হইলে চক্রাকার স্কেল পাঠ হইল 20। ইহাকে যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক দিয়া গুণ করিলে এবং রৈখিক স্কেল পাঠের সহিত যোগ করিলে নির্দিষ্ট ব্যাস পাওয়া যাইবে। অর্থাৎ,

$$\text{চোঙটির ব্যাস} = 5 \text{ mm.} + (20 \times \cdot 01) \text{ mm.}$$
$$= (5 + \cdot 2) \text{ mm.} = 5\cdot 2 \text{ mm.}$$

লক্ষ্য করিবার বিষয় ঃ

(1) এখানেও প্রথমে লক্ষ্য করিতে হইবে কোন যান্ত্রিক ত্রুটি আছে কি-না ; অর্থাৎ A ও C প্রান্তের মধ্যে কোন জিনিস না রাখিয়া উভয়কে মিশাইলে যদি চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলিয়া যায় তবে যন্ত্র ত্রুটিহীন। অন্যথায় যন্ত্রটির ত্রুটি আছে। ক্রমাগত ব্যবহারের ফলে যন্ত্রে ত্রুটি আসা স্বাভাবিক। সেক্ষেত্রে দেখিতে হইবে যে A এবং C প্রান্তদ্বয় মিশিয়া গেলে যদি চক্রাকার স্কেল রৈখিক স্কেলের 0-দাগ পর্যন্ত না পৌছায় তবে ঐ অবস্থায় যে-পাঠ পাওয়া গেল তাহা নির্ণীত দৈর্ঘ্য হইতে বাদ দিতে হইবে। পক্ষান্তরে যদি চক্রাকার স্কেল রৈখিক স্কেলের 0-দাগ ছাড়াইয়া যায় তবে ঐ অবস্থায় পাঠ নির্ণীত দৈর্ঘ্যের সহিত যোগ দিতে হইবে।

(2) লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে A এবং C প্রান্তদ্বয় বস্তুকে যেন খুব জোরে চাপিয়া না ধরে।

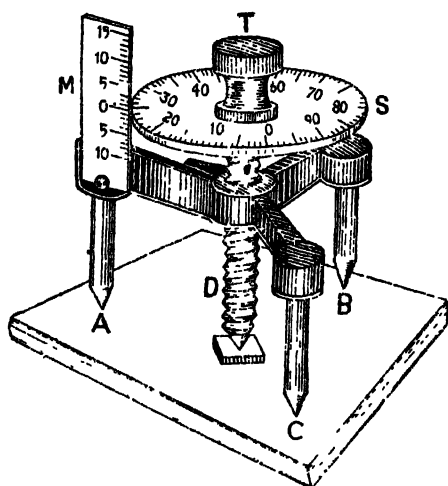
1-14. স্ফেরোমিটার (Spherometer) ঃ এই যন্ত্রের দ্বারা অবতল (concave) বা উত্তল (convex) পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ অথবা পাতলা পাতের বেধ (thickness) মাপা যায়। স্ফেরোমিটারের মূলনীতি (principle) স্ক্রু-গেজেরই মত।

বিবরণ ঃ

1চ নং চিত্রে একটি স্ফেরোমিটার দেখানো হইয়াছে। A, B এবং C একটি ত্রিপদ আসন এবং উহারা একটি সমবাহু ত্রিভুজের শীর্ষবিন্দু। এই আসনের মধ্যস্থল হইতে একটি প্যাচ-কাটা দণ্ড (D) উপর নীচ যাতায়াত করিতে পারে। দণ্ডটির নিম্নপ্রান্ত উপরোক্ত সমবাহু ত্রিভুজের কেন্দ্রবিন্দু স্পর্শ করিতে পারে। উপর প্রান্তে একটি চক্রাকার স্কেল (S) আটকানো আছে। চক্রাকার স্কেলের উপর একটি টুপি (T) আছে যাহার দ্বারা D-screwটিকে এবং সঙ্গে সঙ্গে চক্রাকার স্কেলটিকে ঘুরাইয়া উপর-নীচে চালানো যাইতে পারে। চক্রাকার স্কেলটি আবার একটি খাড়া রৈখিক স্কেলের (M) গা-বাহিয়া চলাচল করে। এই রৈখিক স্কেলটি 0-দাগ মাঝে রাখিয়া উপরে এবং নীচে মিলিমিটারে ভাগ করা থাকে।

যন্ত্রের ব্যবহার ঃ লঘিষ্ঠ ধ্রুবক নির্ণয় ঃ

স্ক্রু-গেজের মত এই যন্ত্রেরও সর্বপ্রথম লঘিষ্ঠ ধ্রুবক বাহির করিতে হইবে। তজ্জন্য চক্রাকার স্কেলটির 0-দাগ রৈখিক স্কেলটির

0-দাগের সহিত মিলাইয়া লইয়া T-টুপিটি দ্বারা চক্রাকার স্কেলটিকে সম্পূর্ণ একবার ঘুরাইয়া দিতে হইবে ইহার ফলে চক্রাকার স্কেলটি রৈখিক স্কেলটির গা বাহিয়া যতটা নামিবে বা উঠিবে তাহাই হইল যন্ত্রটির পিচ। যদি 1 মি. মি. নামে বা উঠে তবে পিচ্ হইবে 1 মি. মি.। ঐ পিচ্‌কে চক্রাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা দ্বারা ভাগ করিলে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক মিলিবে। অতএব,

স্ফেরোমিটার
চিত্র 1ছ

$$\text{ল. ধ্রু.} = \frac{\text{স্ক্রু-পিচ}}{\text{চক্রাকার স্কেলের মোট সংখ্যা}}$$

[যদি পিচ্ হয় 1 মি. মি. এবং চক্রাকার স্কেলে 100টি ভাগ থাকে তবে ল. ধ্রু. $\frac{1}{100}$ মি. মি. = ·01 মি. মি.। অর্থাৎ যন্ত্রটি এক মিলিমিটারের 100 ভাগের এক ভাগ দৈর্ঘ্য মাপিতে সক্ষম।]

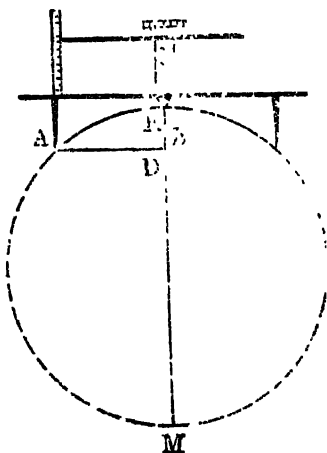
কাচখণ্ডের বেধ (thickness) পরিমাপ :

ধরা যাউক, একখণ্ড কাচের প্লেটের বেধ মাপিতে হইবে। প্রথমে একটি সমতল কাচপৃষ্ঠে যন্ত্রটি বসাইয়া T-টুপি দ্বারা D-পাদবিন্দুটিকে আস্তে আস্তে ঘুরাইয়া কাচের সঙ্গে সবে লাগাইতে হইবে। লাগানো বেশী হইলে যন্ত্রটিকে একটু স্পর্শ করিলেই ঠক্ ঠক্ করিবে। আর লাগানো কম হইলে D-পাদবিন্দুর ছায়ার সহিত পাদবিন্দুর দূরত্ব কাচের ভিতর দিয়া লক্ষ্য করিলেই ধরা পড়িবে। এইভাবে D-পাদবিন্দুকে কাচের সহিত ঠিকভাবে লাগাইতে হইবে। অতঃপর S-চক্রাকার স্কেল M-রৈখিক স্কেলের যে পূর্ণ মিলিমিটার সংখ্যা পার হইয়া গিয়াছে তাহা লক্ষ্য করিতে হইবে। উহাই হইবে রৈখিক স্কেল পাঠ। বাকী অংশটুকু চক্রাকার স্কেল হইতে জানিতে হইবে। এইজন্য লক্ষ্য করিতে হইবে যে চক্রাকার স্কেলের কোন্ দাগটি রৈখিক স্কেলের বিরুদ্ধে

(against) দাঁড়াইয়া আছে। ঐ পাঠকে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক দ্বারা গুণ করিয়া রৈখিক স্কেলের পাঠের সহিত যোগ করিলে যন্ত্রের প্রাথমিক অবস্থান নির্দিষ্ট হইবে।

অতঃপর যে-কাচখণ্ডের বেধ মাপিতে হইবে তাহা পূর্বের সমতল কাচ খণ্ডের মধ্যস্থলে স্থাপন কর যাহাতে D-পাদবিন্দুটি নামিয়া আসিয়া উহাকে স্পর্শ করিতে পারে (1ছ নং চিত্র)। T-টুপি ঘুরাইয়া D-পাদবিন্দুকে ঐ কাচখণ্ডের সহিত সদ্য স্পর্শ করাও এবং পূর্বের ন্যায় রৈখিক ও চক্রাকার স্কেলের পাঠ লও। প্রাথমিক পাঠ ও দ্বিতীয় পাঠের অন্তরফলই কাচখণ্ডের বেধ।

(ii) **বক্রপৃষ্ঠের বক্রতা নির্ণয়ঃ**

যদি কোন অবতল বা উত্তল পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ মাপিতে হয় তাহা হইলে একটি সমতল কাচপৃষ্ঠের প্রাথমিক পাঠ পূর্বের ন্যায় লইতে হইবে। অতঃপর বক্রপৃষ্ঠটি ঐ সমতল কাচপৃষ্ঠের উপর বসাইয়া যন্ত্রটি ঐ বক্রপৃষ্ঠের উপর বসাইতে হইবে। প্রথমে T-টুপি ঘুরাইয়া D-পাদবিন্দুকে বেশ খানিকটা উচুতে তুলিয়া লইতে হইবে। অতঃপর আস্তে আস্তে টুপি ঘুরাইয়া D-পাদবিন্দুটিকে নামাইতে নামাইতে পাদবিন্দুটিকে বক্রপৃষ্ঠের সহিত সদ্য স্পর্শ করাইতে হইবে। এই অবস্থায় রৈখিক ও চক্রাকার স্কেল হইতে যে-পাঠ পাওয়া যাইবে তাহা হইল দ্বিতীয় পাঠ। প্রাথমিক ও দ্বিতীয় পাঠের অন্তর, ধরা যাউক, h, (1জ নং চিত্র)। অতঃপর A, B ও C পাদবিন্দুত্রয় (চিত্র নং 1ছ) যে সমবাহু ত্রিভুজ গঠন করে তাহাদের বাহুত্রয়ের গড় দৈর্ঘ্য যদি 'a' বলা হয় তবে বক্রপৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ 'R' নিম্নলিখিত সমীকরণ (equation) হইতে পাওয়া যাইবে।

চিত্র 1জ

$$R=\frac{a^2}{6h}+\frac{h}{2}$$

[সমীকরণের প্রমাণ :

স্ফেরোমিটার যন্ত্রের তিনটি পা যে সমবাহু ত্রিভুজ গঠন করে, মনে কর, ABC হইল ঐ ত্রিভুজ (1ক নং চিত্র)। D এই ত্রিভুজের কেন্দ্রবিন্দু অর্থাৎ স্ফেরোমিটারের মধ্যস্থল হইতে যে প্যাঁচ-কাটা দণ্ড আছে উহার পাদবিন্দু D-কে স্পর্শ করিবে। F হইল BC বাহুর মধ্যবিন্দু।

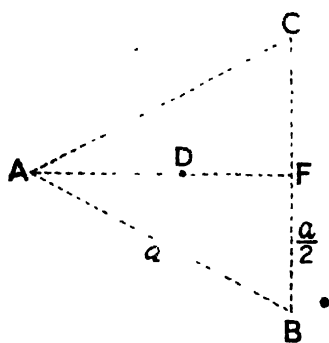
অতএব, $AB=AC=BC=a$, এবং $BF=\frac{BC}{2}=\frac{a}{2}$

কাজেই, $AF^2=AB^2-BF^2$

$$=a^2-\frac{a^2}{4}=\frac{3}{4}a^2$$

$$\therefore\quad AF=\frac{\sqrt{3}}{2}.a$$

কিন্তু, $AD=\frac{2}{3}.AF=\frac{2}{3}.\frac{\sqrt{3}}{2}.a=\frac{a}{\sqrt{3}}$

এখন 1ক নং চিত্র দেখ। স্ফেরোমিটারের প্যাঁচকাটা দণ্ডের পাদবিন্দু বক্রপৃষ্ঠের E বিন্দুকে স্পর্শ করিয়াছে। পৃষ্ঠটি বক্র না হইয়া সমতল হইলে পাদবিন্দু D বিন্দুকে স্পর্শ করিত। সুতরাং $ED=h$. এখন ED সরল রেখা টানিলে উহা বক্র-পৃষ্ঠের কেন্দ্রবিন্দু দিয়া চলিয়া যাইবে এবং বক্র-পৃষ্ঠের অপর পার্শ্বে M বিন্দুকে স্পর্শ করিবে।

চিত্র 1ক

সুতরাং EM বক্রপৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাস

অথবা $EM=2R$

এখন, আমরা বৃত্তের জ্যামিতি হইতে জানি,

$$AD^2=EM.DM$$

বা, $\left(\frac{a}{\sqrt{3}}\right)^2=h(2R-h)$

বা, $\frac{a^2}{3}=2R.h-h^2$

$$\therefore\quad R=\frac{a^2}{6h}+\frac{h}{2}.$$]

1-15. ক্ষেত্রফলের পরিমাপ :

অনেক সমতল ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল পরিমাপের জন্য উহাদের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ অথবা উচ্চতা মাপিলেই ক্ষেত্রফল জানা যায় এবং ভার্নিয়ার, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ক্রু-গেজ প্রভৃতি দ্বারা ঐগুলি পরিমাপ সম্ভব। নিম্নে কতকগুলি সুষম (regular) সমতল ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল পরিমাপের সূত্র দেওয়া হইল :

আয়তক্ষেত্রের (rectangle) ক্ষেত্রফল = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ

ত্রিভুজের (triangle) ক্ষেত্রফল = $\frac{1}{2}$ × ভূমিরেখা (base) × উচ্চতা (altitude)

বৃত্তের (circle)   „   = π × (ব্যাসার্ধ)^2 = π × $\frac{(\text{ব্যাস})^2}{4}$

গোলকের (sphere) উপরতলের ক্ষেত্রফল = 4π × (ব্যাসার্ধ)^2

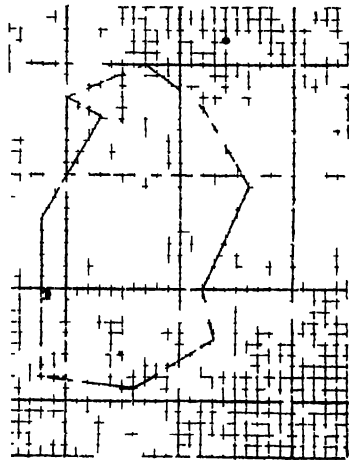
= π × (ব্যাস)^2

চোঙের (cylinder) বক্র-পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল = π × ব্যাস × দৈর্ঘ্য।

উদাহরণস্বরূপ ধরা যাউক, একটি গোল বলের উপরতলের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করিতে হইবে। স্লাইড্ ক্যালিপার্স দ্বারা বলটির ব্যাস মাপিয়া লইলে সহজেই ক্ষেত্রফল পাওয়া যাইবে। কারণ,

গোলকের উপরতলের ক্ষেত্রফল = π × (ব্যাস)^2

অসম আকৃতির ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল নির্ণয় :

ক্ষেত্র অসম (irregular) আকৃতির হইলে ছক্ কাগজের (squared paper) সাহায্যে ক্ষেত্রফল সহজে নির্ণয় করা যায়। 1৭ নং চিত্রে এই পদ্ধতি বুঝানো হইয়াছে। এই প্রসঙ্গে একটি কথা মনে রাখা উচিত যে ক্ষেত্র ছোট হইলে এই পদ্ধতি দ্বারা নির্ভুল ক্ষেত্রফল পাওয়া যায় না।

একটি ছক কাগজ লও এবং উহার প্রত্যেকটি ক্ষুদ্র ঘরের বর্গক্ষেত্র নির্ণয় কর। সাধারণত যে ছক কাগজ পাওয়া যায় উহার প্রত্যেক ক্ষুদ্র ঘরের বর্গক্ষেত্র $\frac{1}{100}$ sq inch এখন যে সমতল ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করিতে হইবে উহার সীমানা পেনসিল দিয়া ছক্ কাগজে আঁক (চিত্র দেখ)। ক্ষেত্র খুব বৃহৎ হইলে তদনুযায়ী

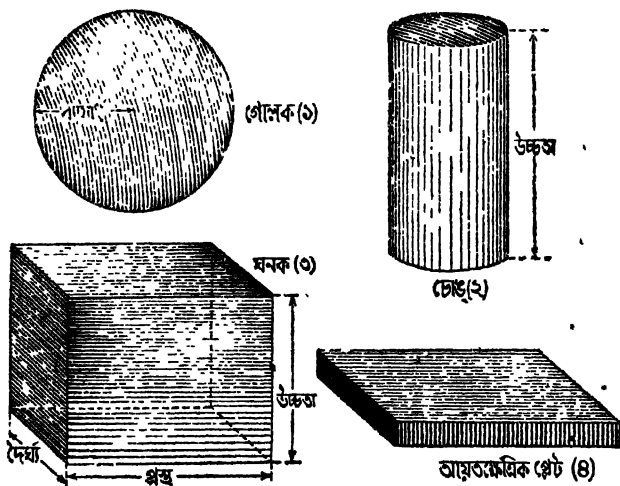
চিত্র 1৭

স্কেল নির্বাচন করিতে হইবে। যেমন, একটি ছোট ঘর অর্থাৎ 0 1 inch =

1 mile ধরিলে, দশটি ছোট ঘর 10 miles বুঝাইবে। এক্ষেত্রে সীমানা আঁকিবার স্কেল হইল 1 inch=10 miles। এই সীমানার মধ্যে যে-কয়টি পূর্ণ ক্ষুদ্র বর্গক্ষেত্র আছে তাহা গণনা কর। এইবার সীমানার মধ্যে অবস্থিত আংশিক বর্গক্ষেত্রগুলি গণনা করিতে হইবে। যে বর্গক্ষেত্রগুলির অর্ধেকের বেশী সীমানার ভিতর আছে উহাদের পুরা বর্গক্ষেত্র ধরিবে এবং যেগুলির অর্ধেকের বেশী সীমানার বাহিরে আছে উহাদের বাদ দিবে। ঠিক অর্ধেক ভিতরে থাকিলে ঐরূপ দুইটিকে একটি পুরা বর্গক্ষেত্র ধরিবে। এইরূপে সীমানার অন্তর্গত মোট বর্গক্ষেত্রগুলি গণনা করিলে উহা হইতে সহজে ক্ষেত্রফল নির্ণয় করা যাইবে।

ক্ষেত্রফল = বর্গক্ষেত্রের মোট সংখ্যা × একটি বর্গের ক্ষেত্রফল।

1-16. আয়তনের পরিমাপ ঃ

বহু সুষম কঠিন বস্তুর (solid figures) দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা মাপিলেই বস্তুটির আয়তন বাহির করা যায়। তজ্জন্য আমরা ভার্নিয়ার স্কেল, স্লাইড

চিত্র 1ত

ক্যালিপার্স বা স্ক্রু-গেজ ব্যবহার করিতে পারি। এখানে (চিত্র নং 1ত) কয়েকটি সুষম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তনের সূত্র দেওয়া হইল—

Parallelepiped-এর আয়তন = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা।

ঘনক (cube) „ „ = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা = (দৈর্ঘ্য)^3

গোলকের আয়তন = $\frac{4}{3}\pi r^3$ (r = ব্যাসার্ধ)।

খাড়া গোলমুখ (right circular) চোঙের আয়তন = গোল প্রান্তের ক্ষেত্রফল × উচ্চতা।

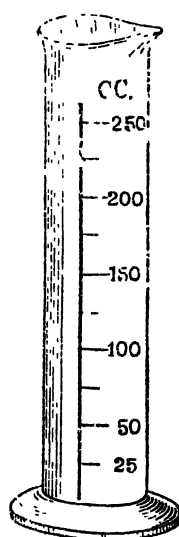
ধরা যাউক একটি খাড়া চোঙের আয়তন নির্ণয় করিতে হইবে। চোঙটির দৈর্ঘ্য ও গোল মুখের ব্যাস অনায়াসে স্লাইড ক্যালিপার্স দ্বারা নির্ণয় করিয়া নিম্নলিখিত সূত্রদ্বারা আয়তন বাহির করা যাইবে।

খাড়া গোলমুখ চোঙের আয়তন = গোল প্রান্তের ক্ষেত্রফল × উচ্চতা

$$= \frac{\pi d^2}{4} \times h$$

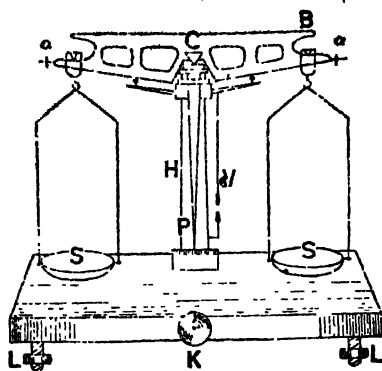
[d = গোলমুখের ব্যাস ও h = উচ্চতা]

অসম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তন আর্কিমিডিসের নীতি প্রয়োগ করিয়া নির্ণয় করা যায়। এই পদ্ধতি তৃতীয় পরিচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে (3-7 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

তরল পদার্থের আয়তন মাপিবার জন্য ঘন সেন্টিমিটার (c.c) দাগ কাটা একপ্রকার আয়তন মাপক চোঙ (measuring cylinder) ব্যবহার করা হয়। 1ধ নং চিত্রে এরূপ একটি চোঙ দেখানো হইল।

আয়তন মাপক চোঙ
চিত্র 1ধ

1-17. ভরের পরিমাপ (Measurement of mass) :

বিভিন্ন দ্রব্যের ভর মাপিবার বিভিন্ন উপায় আছে। সাধারণত ভর মাপিবার জন্য পরীক্ষাগারে যে-যন্ত্রটি ব্যবহৃত হয় তাহার নাম সাধারণ তুলা (common balance)। এই তুলার সাহায্যে কতগুলি প্রমাণ বাটখারার (standard weights) সহিত তুলনামূলক ভাবে কোন দ্রব্যের ভর নির্ণয় করা হয়। নিম্নে তুলার প্রধান অংশের বিবরণ দেওয়া হইল (1দ নং চিত্র)।

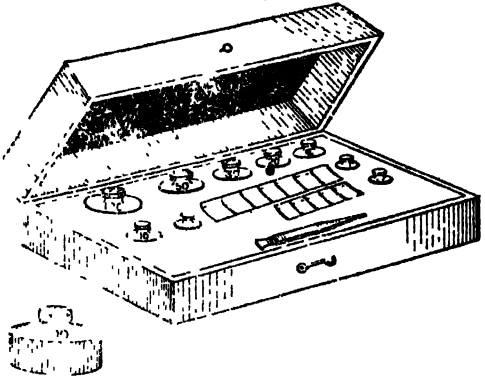
(ক) **তুলাদণ্ড** (Balance beam) : ইহা একটি লম্বা দণ্ড (AB)। এই দণ্ডের ঠিক মাঝখানে একটি অ্যাগেট্ অথবা ইস্পাত-নির্মিত ক্ষুরধার (knife-edge) ত্রিভুজাকৃতি টুক্‌রা (C) শক্ত ভাবে আটকানো আছে। এই টুকরাটি একটি ছোট অ্যাগেট্ প্লেটের উপর রাখা থাকে এবং অ্যাগেট প্লেটটি একটি খাড়া স্তম্ভ (pillar) H-এর ভিতর হইতে ঢুকানো একটি দণ্ডের (rod) উপর সংযুক্ত। K-চাবিটি ঘুরাইলে দণ্ডটি উপরে উঠিতে বা নীচে নামিতে পারে। উপরে উঠাইলে C-এর উপর রক্ষিত তুলাদণ্ডটি C-এর ক্ষুরধারের উপর দোল খাইবে এবং নীচে নামাইয়া রাখিলে তুলাদণ্ডটি স্থির থাকিবে। C-এর এই ধারকে বলা হয় আলম্ব (fulcrum)।

সাধারণ তুলা
চিত্র 1দ

(খ) **সূচক** (Pointer) : ইহা একটি সরু কাঁটা এবং তুলাদণ্ডের ঠিক মাঝখানে লম্বভাবে আবদ্ধ। যখন তুলাদণ্ডটি দোল খায় তখন সূচকটিও দুলিতে থাকে এবং সূচকের তীক্ষ্ণ প্রান্ত (pointed end) স্কেলের গা ঘেঁষিয়া চলাচল করে। তুলাদণ্ড স্থির থাকিলে তীক্ষ্ণপ্রান্ত স্কেলের 0-দাগের সহিত মিশিয়া থাকে।

(গ) **তুলাপাত্র** (Scale pan) : S এবং S দুইটি সমান ওজনের পাত্র A এবং B প্রান্ত হইতে দুইটি স্টীরাপ (stirrup) দ্বারা ঝুলানো থাকে। বাম পাশের পাত্রে পরিমেয় দ্রব্যটি রাখিয়া ডানপাশের পাত্রে প্রমাণ বাটখারা রাখিতে হয়।

(ঘ) A এবং B প্রান্তে দুইটি স্ক্রু (a, a) লাগানো আছে। তুলাপাত্র খালি থাকিলে তুলাদণ্ডটি যদি অনুভূমিক (horizontal) না হয় তাহা হইলে ঐ স্ক্রু দুইটি ঘুরাইয়া ঘুরাইয়া তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক করিতে হয়।

(ঘ) **ওলন-দড়ি** (Plumb line) : প্রত্যেক তুলার সহিত একটি ওলন-দড়ি (V) থাকে। ইহার সাহায্যে স্তম্ভ H ঠিক খাড়া আছে কি-না বোঝা যায়।

(চ) **ওজনের বাক্স (Weight box) ঃ** যদিও বাক্সটি তুলার সংলগ্ন কোন অংশ নয় তথাপি তুলার সাহায্যে ভর মাপিতে এই বাক্সের প্রয়োজন। 1ধ নং চিত্রে এই বাক্সের ছবি দেখানো হইল। এই বাক্সের বিভিন্ন খাপে বিভিন্ন ওজনের প্রমাণ বাটখারা সাজানো থাকে। যেমন, 100 গ্রাম, 50 গ্রাম ইত্যাদি। খাপ হইতে বাটখারা তুলিয়া তুলাপাত্রে রাখিবার জন্য একটি চিমটা (forcep) বাক্সের সহিত দেওয়া থাকে।

ওজনের বাক্স
চিত্র 1ধ

কোন জিনিসের ভর মাপিবার সময় তুলাটি হাওয়া দ্বারা যাহাতে বাধাপ্রাপ্ত না হয় তাহার জন্য যন্ত্রটিকে একটি কাচের বাক্সের মধ্যে রাখা হয়।

সাধারণভাবে তুলার ব্যবহার ঃ

তুলাটির যদি কোনরকম ত্রুটি না থাকে তবে সাধারণভাবে বস্তুর ভর মাপিবার জন্য নিম্নলিখিত উপায় অবলম্বন করা হয়।

পদার্থের বস্তুটিকে বাম তুলাপাত্রে রাখিয়া ডান তুলাপাত্রে ওজনের বাক্স হইতে আন্দাজমত একটি একটি করিয়া বাটখারা তুলিয়া রাখ এবং দেখ যে কখন তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক হইল। তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক হইলে সূচকের তীক্ষ্ণ প্রান্ত স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলিয়া থাকিবে। এ অবস্থায় ডান তুলাপাত্রে রক্ষিত বাটখারার মোট ভর দ্রব্যটির ভরের সমান।

(**দ্রষ্টব্য ঃ** লেখকের 'ব্যবহারিক পদার্থ-বিজ্ঞান' পুস্তকে বিশদ বিবরণ দ্রষ্টব্য।]

একথা সর্বদা মনে রাখিতে হইবে যে, তুলাযন্ত্রে প্রমাণ বাটখারার ভরের সহিত তুলনামূলকভাবে বস্তুর ভর বাহির করা হয়।

ভাল তুলার আবশ্যকীয় গুণ (Requisites of a good balance) :
নিম্নলিখিত গুণগুলি থাকিলে তুলাকে ভাল বলা হইবে :—

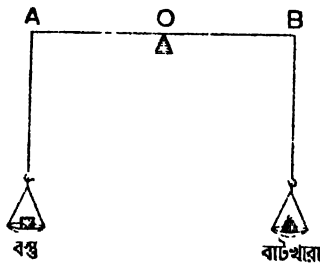
(1) তুলা **সুবেদী** (sensitive) হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ, দুই তুলাপাত্রে রক্ষিত দুই বস্তুর ভরের সামান্য তফাৎ থাকিলে দণ্ডটি কাত হইয়া যাইবে---অনুভূমিক থাকিবে না।

(2) তুলা **নির্ভুল** (true) হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ, ঠিক সমান ভরের দুই বস্তু তুলাপাত্রে রাখিলে অথবা দুই তুলাপাত্র খালি থাকিলে তুলাদণ্ড অনুভূমিক হইবে।

(3) তুলা **প্রতিষ্ঠ** (stable) হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ, সূচকটি একবার আন্দোলিত হইলে পুনরায় সাম্য অবস্থানে শীঘ্র ফিরিয়া আসিবে—দীর্ঘ সময় ধরিয়া আন্দোলিত হইবে না।

(4) তুলা **দৃঢ়** (rigid) হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ, তুলার বিভিন্ন অংশগুলি মজবুত হইবে।

1-18. তুলাযন্ত্রে ওজন করিবার নীতি (Principle of weighing by balance)

তুলাযন্ত্রে কোনরূপ ত্রুটি না থাকিলে এক তুলাপাত্রে পরিমেয় বস্তু রাখিয়া অন্য তুলাপাত্রে প্রমাণ বাটখারা চাপাইয়া তুলাদণ্ড অনুভূমিক করিলে বাটখারার মোট ওজনকে পরিমেয় বস্তুর ওজন বলিয়া গণ্য করা হয়। 1ধ (i) নং চিত্রে বস্তুর ওজন O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া তুলাদণ্ডকে যে-দিকে ঘুরাইবার চেষ্টা করিবে বাটখারার ওজন তুলাদণ্ডকে তাহার বিপরীত দিকে ঘুরাইবার চেষ্টা করিবে। তুলাদণ্ড অনুভূমিক হইলে আমরা বলিতে পারি,

ওজন করিবার পদ্ধতি
চিত্র 1ধ (i)

বস্তুর ওজন × AO = বাটখারার ওজন × BO

যেহেতু, AO = BO, কাজেই, বস্তুর ওজন = বাটখারার ওজন

আবার, যেহেতু ওজন ভরের সমানুপাতিক সেইহেতু এক্ষেত্রে,

বস্তুর ভর = বাটখারার ভর

তুলাদণ্ডের দুই বাহুর দৈর্ঘ্য সমান না হইলেও আমরা বস্তুর প্রকৃত ওজন নির্ণয় করিতে পারি। মনে কর, AO এবং BO সমান নয়। ধর, $AO = x_1$ এবং $BO = x_2$.

মনে কর, বাম-তুলপাত্রে বস্তু রাখিয়া তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করিতে ডান তুলাপাত্রে W_1 বাটখারা চাপাইতে হইল। বস্তুর প্রকৃত ওজন W ধরিলে, আমরা লিখিতে পারি,

$$W \times x_1 = W_1 \times x_2 \quad \cdots(i)$$

এবার ডান তুলাপাত্রে বস্তু রাখিয়া বাম তুলাপাত্রে বাটখারা চাপাইতে হইবে। ধর, তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করিতে W_2 বাটখারা প্রয়োজন হইল। এক্ষেত্রে,

$$W_2 \times x_1 = W \times x_2 \quad \cdots(ii)$$

(i) এবং (ii) সমীকরণ গুণ করিলে, $W^2 \; x_1 x_2 = W_1 . W_2 \; x_1 x_2$

$$\text{or,} \quad W^2 = W_1 W_2$$

$$\therefore \quad W = \sqrt{W_1 W_2}$$

W_1 এবং W_2 জানা থাকায় বস্তুর প্রকৃত ওজন W নির্ণয় করা যাইবে।

উদাহরণ :

(1) একটি তুলাযন্ত্রের দণ্ডের বাহুদ্বয় সমান দৈর্ঘ্যের নহে। কোন বস্তুকে দুই তুলাপাত্রে রাখিয়া ওজন করিলে ওজন যথাক্রমে 5·1 এবং 6·2 gms হইল। বস্তুর প্রকৃত ওজন কত ?

[The arms of a common balance are of unequal length. A substance when weighed in two scale pans, is found to be 5·1 and 6·2 gms in weight. What is the true weight of the substance ?]

উ। এস্থলে, $W_1 = 5{\cdot}1$ gms এবং $W_2 = 6{\cdot}2$ gms, $W = ?$

আমরা জানি $W = \sqrt{W_1 W_2}$

$$= \sqrt{5{\cdot}1 \times 6{\cdot}2}$$

$$= \sqrt{31{\cdot}62}$$

$$= 5{\cdot}62 \text{ gms (প্রায়)}$$

(2) অসমান দৈর্ঘ্যের তুলাদণ্ডযুক্ত একটি তুলা ওজন নির্ণয়ের জন্য ব্যবহার করা হইল। একটি বস্তুকে দুই তুলাপাত্রে রাখিয়া 100 এবং 102·01 gms আপাত ওজন পাওয়া গেল। তুলাদণ্ডের দুই বাহুর দৈর্ঘ্যের অনুপাত নির্ণয় কর।

[An ordinary beam balance, with unequal arms, is used for weighing. The apparent weights of the same body, when placed in the two pans, are respectively 100 and 102·01 grammes. Find the ratio of the arms of the balance.

[H. S. (comp) 1962]

উ। মনে কর দুই বাহুর দৈর্ঘ্য x_1 এবং x_2 অর্থাৎ $AO=x_1$ এবং $BO=x_2$ [চিত্র 1ধ (i)]। বস্তু বাম তুলাপাত্রে এবং বাটখারা (100 gms) ডান তুলাপাত্রে রাখিলে, $W \times x_1 = 100 \times x_2 \quad \cdots(i)$

আবার, বস্তু ডান তুলাপাত্রে এবং বাটখারা (102·01 gms) বাম তুলাপাত্রে রাখিলে,

$$W \times x_2 = 102{\cdot}01 \times x_1 \quad \cdots(ii)$$

ভাগ দিলে, $$\frac{x_1}{x_2} = \frac{100 \times x_2}{102{\cdot}01 \times x_1}$$

$$\text{or, } \frac{x_1^2}{x_2^2} = \frac{100}{102{\cdot}01}$$

$$\therefore \frac{x_1}{x_2} = \frac{10}{10{\cdot}1}$$

1-19. পদার্থের ঘনত্ব (Density) ঃ

কোন পদার্থখণ্ডের এক ঘন আয়তনে যতখানি ভর থাকে তাহাকে ঐ পদার্থের ঘনত্ব (density) বলা হয়। যদি কোন পদার্থখণ্ডের আয়তন হয় V এবং ভর হয় M তাহা হইলে তাহার ঘনত্ব, $D = \frac{M}{V}$

ঘনত্বের একক (Units of density) ঃ

সি. জি. এস্. একক ঃ যদি এক ঘন সেন্টিমিটারে এক গ্রাম ভর থাকে তাহা হইলে পদার্থটির ঘনত্বকে সি জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী ঘনত্বের একক ধরা হয়।

পরিষ্কার জলকে 4° সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় রাখিলে উহার ঘনত্ব সি. জি. এস্ পদ্ধতি অনুযায়ী এক একক ঘনত্বের সমান।

এফ্. পি. এস্. একক ঃ যদি এক ঘন ফুটে এক পাউণ্ড ভর থাকে তাহা হইলে পদার্থটির ঘনত্বকে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী ঘনত্বের একক ধরা হয়।

এক ঘনফুটে যতখানি জল ধরে তাহার ভর হইল 62·5 পাউণ্ড। সুতরাং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী জলের ঘনত্ব হইল প্রতি ঘনফুটে 62·5 পাউণ্ড।

একথা মনে রাখিতে হইবে যে, কোন পদার্থের সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী যে ঘনত্ব, এফ্ পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী সে ঘনত্ব হইবে না। সুতরাং পদার্থের ঘনত্ব বলিলেই তাহার যথোপযুক্ত একক উল্লেখ করিতে হইবে। যেমন, যদি বলা হয় রূপার ঘনত্ব 10·5 তাহা হইলে ঠিক বলা হইল না। বলিতে হইবে, রূপার ঘনত্ব 10·5 গ্রাম প্রতি ঘ. সেণ্টিমিটারে।

এফ. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী রূপার ঘনত্ব 10·5 নয়। ইহা 10·5×62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে।

উদাহরণ :

(1) একটি লোহার টুক্‌রার ভর 740 gms এবং উহার আয়তন 100 cc., লোহার ঘনত্ব নির্ণয় কর।

[The mass and the volume of a piece of iron are 740 gms. and 100 c.c. respectively. Calculate the density of iron.]

উত্তর। এস্থলে, M = 740 gms

$$V = 100 \text{ c.c.}$$

$$\therefore \quad D = \frac{M}{V} = \frac{740}{100} = 7{\cdot}4 \text{ gms/c.c.}$$

(2) একটি ইস্পাতের গোলকের ব্যাসার্ধ যদি 1 cm ও ভর 32·7 gms হয় তবে ইস্পাতের ঘনত্ব কত?

[If the radius and mass of a sphere of steel are respectively 1 cm. and 32·7 gms, what is the density of steel?]

উত্তর। আমাদের জানা আছে যে, গোলকের আয়তন

$$= \tfrac{4}{3}\pi \times (\text{ব্যাসার্ধ})^3$$

$$= \tfrac{4}{3} \times \tfrac{22}{7} \times (1)^3 \text{ c.c.}$$

$$= \tfrac{88}{21} \text{ c.c.}$$

$$\text{সুতরাং ইস্পাতের ঘনত্ব} = \frac{\text{গোলকের ভর}}{\text{গোলকের আয়তন}}$$

$$= \frac{32{\cdot}7}{\frac{88}{21}} = \frac{32{\cdot}7 \times 21}{88} = 7{\cdot}8 \text{ (প্রায়) gms/c.c.}$$

(3) **1 metre লম্বা এবং 1 cm. আভ্যন্তরীণ ব্যাসযুক্ত একটি চোঙের খালি অবস্থায় ওজন 100 gms এবং তরলপূর্ণ অবস্থায় ওজন 150 gms ; তরলের ঘনত্ব নির্ণয় কর।**

[**A cylindrical tube 1 metre long and 1 cm. in internal diameter weighs 100 gms. when empty and 150 gms. when filled with a liquid. Find the density of the liquid.**]

উত্তর। তরলের ওজন $=150-100=50$ gms.

ঐ তরলের আয়তন = চোঙের আভ্যন্তরীণ আয়তন

$$=\pi(\cdot 5)^2 \times 100 \text{ c.c.}$$

[চোঙের ব্যাসার্ধ $=0\cdot 5$ cm.

" দৈর্ঘ্য $=100$ cm.]

সুতরাং তরলের ঘনত্ব $=\dfrac{50}{\pi \times \cdot 5 \times \cdot 5 \times 100}$

$$=\frac{50}{\pi \times 5 \times 5}$$

$$=\frac{2}{3\cdot 14}=0\cdot 64 \text{ gm/c c.}$$

ঘনত্বের পরিমাপ (Measurement of density) :

কোন পদার্থের ঘনত্ব মাপিতে হইলে উহার ভর ও আয়তন মাপিলেই চলিবে কারণ আগেই বলা হইয়াছে যে ভরকে আয়তন দিয়া ভাগ করিলে পদার্থের ঘনত্ব পাওয়া যায়। তুলার সাহায্যে বস্তুর ভর বাহির করা যাইবে এবং বস্তুটি সুষম (regular) আকৃতির হইলে উহার আয়তন বাহির করার পদ্ধতিও আমরা পূর্বে দেখিয়াছি। সুতরাং বস্তুটি সুষম হইলে উহার উপাদানের ঘনত্ব বাহির করা খুবই সহজ।

বস্তু অসম (irregular) আকৃতির হইলে উহার উপাদানের ঘনত্ব বাহির করিবার প্রণালী পরে বর্ণনা করা হইয়াছে (চতুর্থ পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

1-20. বস্তুর ওজন (Weight of a substance) :

আমরা জানি যে কোন বস্তুকে মাটি হইতে কিছু উপরে তুলিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা মাটিতে গিয়া পড়ে—উপরের দিকে উঠিয়া যায় না। ইহা হইতে স্বভাবতই মনে হয় যে মাটি ও বস্তুর ভিতর নিশ্চয়ই কোন আকর্ষণ আছে। প্রকৃত-পক্ষে পৃথিবী এবং পার্থিব সকল বস্তুর ভিতরই এই আকর্ষণ বর্তমান। ইহাকে **অভিকর্ষ** (gravity) বলে এবং ইহা আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী-শ্রেষ্ঠ নিউটন।

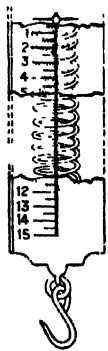
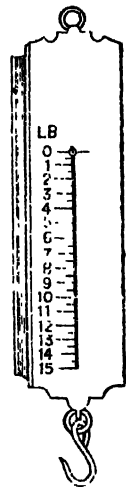
এই অভিকর্ষের দরুন কোন বস্তুকে হাতের উপর রাখিলে আমরা নিম্নাভিমুখী বল অনুভব করি। বস্তুটি খুব ভারী হইলে এই বল এত বেশী হয় যে আমরা হাতের উপর বস্তুটিকে রাখিতে পারি না। এই বলকেই **বস্তুর ওজন** বলা হয়। সুতরাং কোন বস্তুর উপর পৃথিবী মোট যে অভিকর্ষজ বল প্রয়োগ করে তাহাই হইল বস্তুর ওজন।

কোন বস্তুর ওজন স্থানভেদে বিভিন্ন হয়। বস্তুকে পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে যত উচ্চে নেওয়া যায় বস্তুর ওজন তত কমিয়া যায়। পৃথিবী-পৃষ্ঠেও বিভিন্ন স্থানে ওজন বিভিন্ন হইবে কারণ পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে বিভিন্ন স্থানের দূরত্ব সমান নয়।

ওজনের পরিমাপ (Measurement of weight of a body)

কোন বস্তুর ওজন পরিমাপের অর্থ এই যে উহার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-জনিত মোট বল কত তাহার পরিমাপ। স্প্রীং তুলা (Spring balance) নামক একপ্রকার যন্ত্রের সাহায্যে তাহা করা যায়।

স্প্রীং তুলা : 1ন নং চিত্রে একটি স্প্রীং তুলা দেখানো হইয়াছে। স্প্রীং তুলার ভিতরের অংশ 1প নং চিত্রে দেখানো হইল।

এই যন্ত্রে একটি ইস্পাতের স্প্রীংকে একটি ধাতব আবরণের ভিতর এমনভাবে রাখা হইয়াছে যে স্প্রীংটির এক প্রান্ত আবরণের উপরে একটি আংটার সহিত আটকানো এবং নিম্নপ্রান্ত একটি দণ্ডের সহিত সংযুক্ত। এই দণ্ডের অপর প্রান্তে একটি হুক্ লাগানো আছে। যে-বস্তুর ওজন নির্ণয় করিতে হইবে তাহাকে এই হুকে ঝুলাইয়া দেওয়া যায়। ধাতব আবরণের গায়ে পাউণ্ড অথবা গ্রামে দাগকাটা একটি স্কেল অংকিত থাকে। স্প্রীংটির সহিত একটি সরু কাঁটা সূচকের (pointer) কাজ করিবার জন্য লাগানো থাকে। স্প্রীংটি কোন কারণে দৈর্ঘ্যে বাড়িলে সূচকটিও স্কেলের গা-বাহিয়া নামিয়া আসে।

স্প্রীং তুলার ভিতরের অংশ
চিত্র 1প

স্প্রীং তুলা
চিত্র 1ন

প্রথমে কয়েকটি জানা ওজন-সম্পন্ন বস্তু হুকে ঝুলাইয়া স্প্রীং কতটা দৈর্ঘ্যে বাড়ে এবং তাহার ফলে সূচকটি কোথায় দাঁড়ায় তাহা ঠিক করিয়া সেই মত

স্কেল কাটা হয়। পরে অজ্ঞাত ওজনের কোন বস্তু হুকে ঝুলাইলে সূচক যে-দাগের কাছে দাঁড়াইবে তাহাই হইবে বস্তুটির ওজন। মনে রাখিবে যে, স্প্রীংয়ের প্রসারণ বস্তুর ওজনের সমানুপাতিক।

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে স্প্রীং তুলার কার্যনীতি (principle of work) সরাসরি পৃথিবীর আকর্ষণের উপর প্রতিষ্ঠিত। কাজেই সরাসরি এবং দ্রুত ওজন মাপিতে গেলে এই যন্ত্রই সুবিধাজনক।

স্প্রীং তুলা ও সাধারণ তুলার পার্থক্য ঃ

স্প্রীং তুলা ও সাধারণ তুলার নীতিগত পার্থক্য আছে। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে সাধারণ তুলায় প্রমাণ বাটখারার সঙ্গে তুলনামূলকভাবে কোন বস্তুর ভর মাপা হয়—বস্তুটির ওজন পাওয়া যায় না। কিন্তু স্প্রীং তুলার সাহায্যে সরাসরি বস্তুর ওজন মাপা হয়। যদি কোন বস্তুকে স্থান হইতে স্থানান্তরে লইয়া যাওয়া হয়, তবে তাহার ওজনের পার্থক্য সাধারণ তুলা দ্বারা ধরা যাইবে না। কারণ অভিকর্ষজ ত্বরণের পরিবর্তন সমানভাবে বস্তু ও বাটখারার উপর প্রযুক্ত হইবে এবং যেহেতু বস্তুটির ভর ঠিকই থাকে সেইহেতু একই পরিমাণ বাটখারা বস্তুটিকে দুই জায়গাতেই সাধারণ তুলায় পরিমাপ করিবে। কিন্তু স্প্রীং তুলা দ্বারা বস্তুর এই ওজনের পার্থক্য ধরা যাইবে, কারণ বিভিন্ন স্থানে পৃথিবীর আকর্ষণ বিভিন্ন হওয়ায় স্প্রীং তুলার স্প্রীং-এর প্রসারণও বিভিন্ন হইবে। সুতরাং যে বস্তুর ওজন কলিকাতায় এক পাউণ্ড স্প্রীং তুলার সাহায্যে লণ্ডনে ওজন করিলে তাহা ভিন্ন দেখা যাইবে।

অতএব মনে রাখিতে হইবে যে, **সাধারণ তুলা দ্বারা আমরা বিভিন্ন বস্তুর ভরের তুলনা করিতে পারি কিন্তু স্প্রীং তুলা দ্বারা ওজন মাপিতে পারি।**

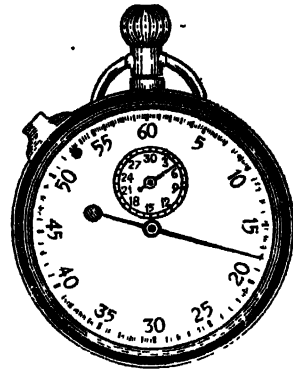
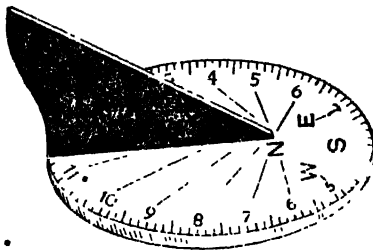
1·21. সময়ের পরিমাপ (Measurement of time)

কোন ঘটনা যদি একটি নির্দিষ্ট অবকাশ (interval) অন্তর ঘটে তবে তাহার দ্বারা সময়ের পরিমাপ করা চলে।

সাধারণত সময় মাপিবার জন্য আমরা ঘড়ি ব্যবহার করি। এই ঘড়ি নানারকম হইতে পারে ; যেমন—সাধারণ ঘড়ি, ক্রনোমিটার অথবা নির্ভুল সময় নির্দেশক ঘড়ি, stop-ঘড়ি অর্থাৎ যে ঘড়ি ইচ্ছামত চালানো বা বন্ধ করা

যায়। কোন কোন stop-ঘড়ি দ্বারা এক সেকেণ্ডের 5 ভাগের এক ভাগ এমন কি দশভাগের একভাগ সময়ও নির্ণয় করা সম্ভব।

স্টপ-ঘড়ি
চিত্র 1ক

খ্রীষ্ট জন্মের 800 বছর পূর্বে Sun-dial নামক একপ্রকার যন্ত্রের সাহায্যে সময় নির্ণয় করা হইত। একটি গোলাকার পৃষ্ঠে (surface) সময় নির্দেশক ঘণ্টা 1, 2 ইত্যাদি লেখা থাকে এবং একটি অস্বচ্ছ (opaque) বস্তু ঐ পৃষ্ঠে লম্ব (vertical) ভাবে আটকানো থাকে। সূর্যের আলো এ অস্বচ্ছ বস্তুতে পড়িয়া যে-ছায়া সৃষ্টি করিত সূর্যের গতির সঙ্গে ঐ ছায়া ঘণ্টার অঙ্কগুলিকে স্পর্শ করিয়া যাইত। এইভাবে Sun-dial দ্বারা তখনকার দিনে সময় নির্দেশ করা হইত। 1খ নং চিত্রে ঐরূপ একটি Sun-dial দেখানো হইয়াছে।

Sun dial
চিত্র 1খ

1-22 কোণের একক (Units of angle) :

একটি বৃত্তের সমগ্র পরিধিকে (circumference) সমান 360 ভাগে ভাগ করিলে প্রত্যেক ভাগ বৃত্তের কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে **'ডিগ্রী'** (degree) বলা হয়।

সাধারণত কোণের পরিমাপ করা হয় এই ডিগ্রী একক দ্বারা। সমগ্র পরিধিকে সমান চারভাগে ভাগ করিলে প্রত্যেক ভাগ বৃত্তের কেন্দ্রে যে-কোণ উৎপন্ন করে, তাহাকে **সমকোণ** ধরা হয়। সুতরাং এক সমকোণে 90° আছে। ডিগ্রীর ক্ষুদ্রতর অংশগুলি নিম্নরূপ :

$1' = 60'$ (মিনিট) $\qquad 1' = 60''$ (সেকেণ্ড)

এই পদ্ধতিকে ষষ্টিক পদ্ধতি (Sexagesimal measure) বলা হয়।

ইহা ছাড়া কোণ মাপিবার আর একটি একক আছে। উহার নাম **রেডিয়ান** (radian)। যদি কোন বৃত্ত হইতে ব্যাসার্ধের সমান দৈর্ঘ্য সম্পন্ন চাপ লওয়া হয়, তবে ঐ চাপ বৃত্তের কেন্দ্রে যে-কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে এক রেডিয়ান বলে। এই পদ্ধতিকে বৃত্তীয়মান পদ্ধতি (circular measure) বলা হয়।

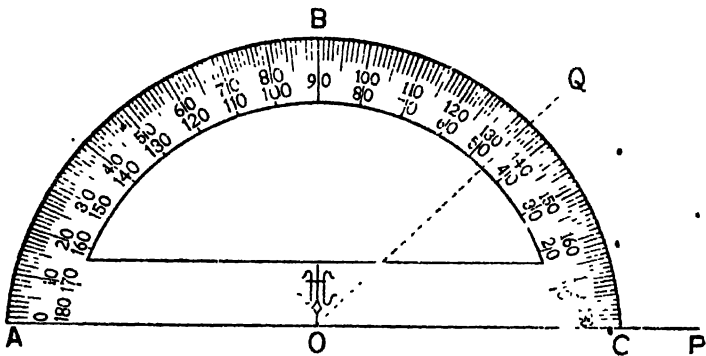
ডিগ্রী ও রেডিয়ানের ভিতর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

2π রেডিয়ান $= 360^\circ$

$\therefore$ 1 রেডিয়ান $= \dfrac{360}{2\pi} = 57{\cdot}29^\circ$ $\quad [\pi = \frac{22}{7}]$

1-23. কোণের পরিমাপ (Measurement of angle) :

(1) **চাঁদা বা প্রোট্র্যাক্টরের** (Protractor) **সাহায্যে :**

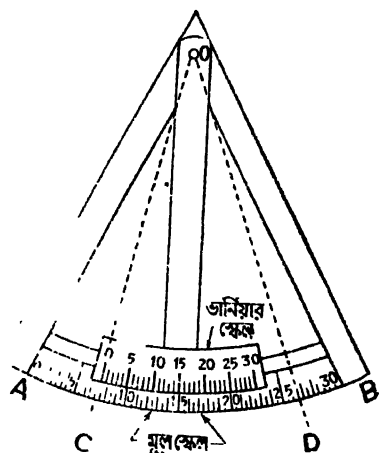
দ্রুত ও সহজে কোণ পরিমাপ করিতে হইলে চাঁদার সাহায্যে করা যাইতে পারে। ইহা আকারে অর্ধবৃত্ত (semi-circle) এবং ধাতু, গাটা-পার্চা বা কাঠের পাতলা পাত দ্বারা তৈয়ারী। ইহার পরিধিকে সমান

চাঁদার সাহায্যে কোণ নির্ণয়

চিত্র 1ভ

180 ভাগে ভাগ করা হয় এবং প্রত্যেক ভাগের গায়ে ডিগ্রীসূচক চিহ্ন লেখা থাকে। প্রত্যেক ডিগ্রীকে আবার দুই বা তিনভাগে ভাগ করা থাকে। ইহা হইতে এক ডিগ্রীর অর্ধেক বা এক-তৃতীয়াংশ পর্যন্ত পরিমাপ করা যায়। 1ভ নং চিত্রে একটি চাঁদার আকৃতি দেখানো হইয়াছে। ABC হইল অর্ধবৃত্তকার পরিধি যাহার গায়ে ডিগ্রী চিহ্ন লেখা আছে। O বিন্দু বৃত্তের কেন্দ্র।

ধর, $\angle POQ$ চাঁদার সাহায্যে মাপিতে হইবে। চাঁদাটিকে এমনভাবে রাখিতে হইবে যে AC রেখা কোণের যে-কোন বাহু—ধর, OP বাহুর সহিত মিশিয়া যায় এবং O বিন্দু কোণের শীর্ষবিন্দুর সহিত মেলে। এই অবস্থায় কোণের অপর বাহু অর্থাৎ OQ বাহু চাঁদার পরিধিকে ছেদ করিবে। এই বাহু যে-ডিগ্রী চিহ্নের ভিতর দিয়া যাইবে তাহাই হইবে উক্ত কোণের পরিমাপ। চিত্রে দেখা যাইতেছে যে $\angle POQ = 45°$.

কৌণিক ভার্নিয়ারের (Angular vernier) সাহায্যে :

চাঁদার সাহায্যে 1 ডিগ্রীর অর্ধেক বা এক-তৃতীয়াংশ পর্যন্ত মাপা চলে, কিন্তু কোন কোন কার্যে কোণের আরও সূক্ষ্মতর পরিমাপ প্রয়োজন হয়। যেমন, স্পেকট্রোমিটার (Spectrometer), থিওডোলাইট (Theodolite), সেক্সটান্ট (Sextant) প্রভৃতি যন্ত্রের সাহায্যে কোণের সূক্ষ্মতর পরিমাপ সম্ভব এবং এই সমস্ত যন্ত্রে কৌণিক ভার্নিয়ারের সাহায্য লওয়া হয়। 1ম নং চিত্রে একটি কৌণিক ভার্নিয়ার দেখানো হইল

কৌণিক ভার্নিয়ার

চিত্র 1ম

এই যন্ত্রে ধাতুর পাতের উপর অঙ্কিত একটি বৃত্তাকার স্কেল (AB) থাকে। ইহাকে মূল-স্কেল বলা হয়। এই স্কেলটি ডিগ্রীতে অঙ্কিত এবং প্রত্যেক ডিগ্রী আবার দুই ভাগে বিভক্ত। এই স্কেলের গা ঘাঁষিয়া আর একটি ছোট স্কেল—ইহাকে কৌণিক ভার্নিয়ার স্কেল বলা হয়—চলাচল করিতে পারে। ইহাকে চলাচল করাইবার জন্য ইহার সহিত একটি ঘূর্ণমান (rotating) বাহু যুক্ত থাকে। O বিন্দু হইল বৃত্তাকার মূল-স্কেল এবং ভার্নিয়ার স্কেল উভয়েরই কেন্দ্রবিন্দু। সুতরাং ঘূর্ণমান বাহু দ্বারা ভার্নিয়ার স্কেলকে মূল-স্কেলের গা ঘাঁষিয়া সরাইলে উহা যে বৃত্তপথে ঘুরিবে O বিন্দু হইবে ঐ বৃত্তের কেন্দ্র।

এই যন্ত্রদ্বারা কোণ নির্ণয় করিতে গেলে সর্বপ্রথম ইহার ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক

নির্ণয় করিতে হইবে। প্রথমত দেখিতে হইবে যে মূল-স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরগুলি এক ডিগ্রীর কত অংশ। চিত্রে $\frac{1}{2}$ ডিগ্রী দেখানো হইয়াছে। অতঃপর ভার্নিয়ার স্কেলে কত ঘর আছে তাহা গণনা কর। সাধারণত 30 ঘর থাকে। এইবার ঘূর্ণমান বাহু ঘুরাইয়া ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল-স্কেলের কোন একটি দাগের সহিত মিলাও। দেখিবে যে ভার্নিয়ারের শেষ দাগ মূল স্কেলের আর একটি দাগের সহিত মিলিয়া গিয়াছে। ইহা হইতে নির্ণয় কর যে ভার্নিয়ারের 30 ঘর মূল-স্কেলের মোট কত ক্ষুদ্রতম ঘরের সহিত মিলিল। উপরোক্ত ক্ষেত্রে দেখা যাইবে যে মূল-স্কেলের 29 ঘরের সহিত মিলিয়াছে।

সুতরাং এক্ষেত্রে লেখা যাইতে পারে যে,

30 ঘর ভার্নিয়ার = 29 ক্ষুদ্রতম মূল-স্কেল ঘর

$\therefore$ 1 ,, ,, $= \frac{29}{30}$,, ,, ,, ,,

সুতরাং ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক $= \left(1 - \frac{29}{30}\right) \times$ মূল-স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর

$$= \left(\frac{1}{30} \times \frac{1}{2}\right)^\circ \text{ ডিগ্রী}$$

[$\because$ মূল-স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর $= (\frac{1}{2})^\circ$]

$$= \left(\frac{1}{60}\right)^\circ = 1'$$

সুতরাং এই ভার্নিয়ার দ্বারা এক ডিগ্রীর 60 ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত মাপা চলে। কোন কোন ভার্নিয়ারে আরও সূক্ষ্ম পরিমাপের ব্যবস্থা থাকে।

মনে কর, কৌণিক ভার্নিয়ার দ্বারা $\angle$COD কোণ মাপিতে হইবে। এক্ষেত্রে, ঘূর্ণমান বাহুদ্বারা ভার্নিয়ারকে আস্তে আস্তে ঘুরাইয়া এমনভাবে রাখিতে হইবে যে ভার্নিয়ারের 0-দাগ OC রেখার সহিত মিশিয়া যায় (চিত্র দেখ)। অতঃপর দেখিতে হইবে যে ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল-স্কেলের কত দাগ পার হইয়া গেল। উহা হইবে মূল-স্কেল পাঠ। এখন এক এক করিয়া ভার্নিয়ার দাগগুলি লক্ষ্য করিয়া যাও। দেখিবে ভার্নিয়ারের কোন একটি দাগ মূল-স্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়াছে। ঐ দাগ পর্যন্ত ভার্নিয়ারের কত ঘর হইল গণনা কর। উহাকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক দ্বারা গুণ করিয়া ঐ গুণফলের সহিত মূল-স্কেল পাঠ যোগ কর। ইহা হইবে OC রেখার কৌণিক অবস্থিতি। এইরূপে OD

রেখার কৌণিক অবস্থিতি নির্ণয় কর। এই দুই পাঠের অন্তরফল হইবে ∠COD কোণের সমান।

সারাংশ

রাশি দুই প্রকার—(1) স্কেলার ও (2) ভেক্টর।

এককের বিভিন্ন পদ্ধতি :—(1) সি. জি. এস্, ও (2) এফ্. পি. এস্.।

তিনটি প্রাথমিক একক :—(1) দৈর্ঘ্য, (2) ভর ও (3) সময়।

দৈর্ঘ্য মাপিবার যন্ত্র :—(1) স্কেল, (2) ভার্নিয়ার স্কেল, (3) স্লাইড্ ক্যালিপার্স, (4) স্ক্রু-গেজ, (5) স্ফেরোমিটার।

ভর মাপিবার যন্ত্র :—সাধারণ তুলা।

ঘনত্ব :—যদি ভর হয় 'M' এবং আয়তন 'V' তবে ঘনত্ব $D = \frac{M}{V}$

সময় মাপিবার যন্ত্র :—(1) সাধারণ ঘড়ি (2) Stop-ঘড়ি (3) ক্রনোমিটার।

কোণের একক :—(1) ডিগ্রী (2) রেডিয়ান।

কোণ মাপিবার যন্ত্র :—(1) চাঁদা বা প্রোট্র্যাক্টর (2) কৌণিক ভার্নিয়ার।

প্রশ্নাবলী

1. একক কাহাকে বলে এবং এককের প্রয়োজনীয়তা কি? এককের বিভিন্ন পদ্ধতি বুঝাইয়া দাও।
[What is 'unit' and what is its utility? Explain the different systems of unit.]

2. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লেখ :—(ক) সেন্টিমিটার, (খ) ফুট, (গ) কিলোগ্রাম, (ঘ) লিটার।
[Define the following quantities :—(a) Centimetre (b) Foot (c) Kilogramme (d) Litre.]

3. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি প্রকাশ কর :—(ক) ফুটকে সেন্টিমিটারে, (খ) মিটারকে গজে, (গ) পাউণ্ডকে গ্রামে ও (ঘ) সেকেণ্ডকে দিনে।
[Work out the following conversions :—(a) from foot to centimetre, (b) from metre to yard, (c) from pound to gramme & (d) from second to day.]

[Ans. (a) 30·48 (b) 1·09868 (c) 453·6 (d) $\frac{1}{24 \times 60 \times 60}$]

4. 'লিটার' ও 'গ্যালন' কাহাকে বলে ? গ্যালনকে লিটারে প্রকাশ কর।

[Define a 'litre' and a 'gallon.' Express a gallon in litres.]

[Ans. 4·55]

5. একটি 100 yd. দৌড় প্রতিযোগিতাকে 100 metre-এ পরিবর্তন করা হইল। ইহাতে দৌড়টি কতখানি বৃদ্ধি পাইল তাহা ফুট এবং ইঞ্চিতে প্রকাশ কর।

[A 100 yd. racing track has to be converted into a 100 metre track. Find in feet and inches the additional distance a competitor has to run in the new track.] [*H S. (Comp) 1963*] [Ans. 28 ft. 1 inch]

6. সেরকে কিলোগ্রামে পরিণত কর। 1 মণ = 40 সের = 82·2 lbs.

[Express a seer in kilogrammes. Given 1 maund = 40 seers = 82·2 lbs]

[Ans 0 982 kgm.]

7. নিম্নলিখিত যন্ত্রগুলির বিবরণ ও ব্যবহার লেখ :—(ক) স্ক্রু গেজ (খ) স্ফেরোমিটার।

[Describe and explain the use of the following instruments :—(a) Screw-gauge (b) Spherometer.]

8. একটি বৃত্তের ব্যাস 14 cm., ; উহার ক্ষেত্রফল কত ?

[The diameter of a sphere is 14 cm. What is its surface area ?]

[Ans. 154 sq, cm.]

9 একটি খাড়া গোলমুখ চোঙের উচ্চতা 7 ft. এবং উহার ব্যাস 2 ft চোঙটির আয়তন কত ?

[The height of a right circular cylinder is 7 ft. and its diameter is 2 ft What is its volume ?]

[Ans. 22 c. ft.]

10 একটি জলাশয়ের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও গভীরতা সমান। উহাতে 1000 গ্যালন জল আছে। জলাশয়ের গভীরতা মিটারে নির্ণয় কর।

[The length, breadth and depth of a tank are all equal and it contains 1000 gallons of water. Find its depth in metres.]

[Ans. 1·86]

11 ভর মাপিবার যন্ত্রের নাম কি ? উহার বিবরণ দাও ও সাধারণভাবে ভর মাপিবার প্রণালী ও নীতি বর্ণনা কর।

[What is the instrument of measuring the mass of a substance ? Describe it and explain the method and principle of measuring the mass.]

12. একটি তুলাযন্ত্রের দণ্ডের দুই বাহু 20 cm. দীর্ঘ। এক পাত্রে 20 gm ওজনের একটি বাটখারা আছে এবং অন্য পাত্রে একটি অজ্ঞাত ওজনের বস্তু আছে। একটি 1 gm-wt ওজন তুলাদণ্ডের উপর রাখা হইল এবং আলম্ব হইতে বস্তুর দিকে আস্তে আস্তে সরানো হইল। যখন 1 gm-wt ওজনটি আলম্ব হইতে 15 cm. দূরে রাখা হইল তখন তুলাদণ্ড অনুভূমিক হইল। বস্তুর ওজন কত ?

[A common balance has equal arms, 20 cms in length. A weight 20 gms rests on one pan, while an unknown weight rests on the other. A one gm-wt is placed on the beam and moved from the pivot towards the unknown weight. When the one gm-wt is 15 cm. from the pivot equilibrium is restored What is the unknown weight ?]

[Ans. 19·25 gms]

13 ঘনত্ব কাহাকে বলে এবং উহার একক কি ? ভর, আয়তন ও ঘনত্বের পারস্পরিক সম্বন্ধ কি ?

একটি কাঠের ব্লকের দৈর্ঘ্য 5 cm , প্রস্থ 4 cm এবং উচ্চতা 10 cm : উহার ভর 160 gm হইলে কাঠের ঘনত্ব কত ?

[What is density and what is its unit ? What is the relation between mass, volume and density ?

A block of wood has length 5 cm , breadth 4 cm, and height 10 cm. If its mass is 160 gm , what is the density of wood ?]

[Ans. 0·8 gm/c.c.]

14. বস্তুর ওজন বলিতে কি বোঝ ? একটি সুন্দর নক্সার সাহায্যে স্প্রীং তুলার বিবরণ দাও। স্প্রীং তুলা ও সাধারণ তুলার কার্যপ্রণালীর পার্থক্য কি ?

[What do you mean by weight of a body ? Describe a spring balance with the help of a neat diagram What is the difference in the principle of action between a spring balance and a common balance ?]

[*H. S (Comp) 1962*]

15 'বস্তুর ওজনের' সংজ্ঞা লেখ। যে-যন্ত্রের সাহায্যে বস্তুর ওজন সরাসরি মাপা যায় তাহার বিবরণ দাও। যন্ত্রের একটি সুন্দর নক্সা আঁক।

[Define 'weight of a body.' Describe an instrument by which the weight of a body can directly be measured. Give a neat diagram of the instrument.]

[*H. S. Exam. 1960*]

16. কোন স্থানে $g = 980$ cm/sec² এবং ঐ স্থানে একটি বস্তুর ওজন স্প্রীং তুলায় মাপিয়া দেখা গেল 75 gms ; যেখানে $g = 981$ cm/sec², সেখানে বস্তুটির ওজন কত হইবে ?

[At a place where $g = 980$ cm/sec², the weight of a body, as measured by a spring balance, is found to be 75 gms. What will be the weight of the same body at a place where $g = 981$ cm/sec² ?]

[Ans. 75·075 gms]

17. 'ডিগ্রী' এবং 'রেডিয়ান' কাহাকে বলে ? উহাদের মধ্যে সম্পর্ক কি ? কৌণিক ভার্নিয়ারের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[What are 'degree' and 'radian' ? What is their relation ? Describe and explain the use of an angular vernier.]

[Objective type questions]

18. নিম্নে কতকগুলি প্রশ্ন ও তৎসহ সম্ভাব্য উত্তর দেওয়া হইল। যে উত্তরটি তোমার সর্বাপেক্ষা নির্ভুল মনে হইবে তাহা ✓ চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত কর।

(i) ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য পরিমাপের সুবিধাজনক যন্ত্র কি ?
স্ফেরোমিটার, কৌণিক ভার্নিয়ার, স্ক্রু-গেজ।

(ii) 'গ্রাম প্রতি ঘনসেন্টিমিটার' কোন রাশির একক ?
ক্ষেত্রফল, ঘনত্ব, ওজন।

(iii) সরাসরি ওজন মাপা যায় কোন যন্ত্রে ?
স্প্রীং তুলা, সাধারণ তুলা।

(iv) সি. জি. এস পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক কি ?
—ডিগ্রী, সেন্টিমিটার, ইঞ্চি।

প্রথম পরিচ্ছেদ (অতিরিক্ত*)

বলবিদ্যার প্রাথমিক আলোচনা
(Fundamentals of Mechanics)

1. স্থিতি (Rest) ও গতি (Motion) :

আমরা আমাদের চতুর্দিকে দৃষ্টি ফিরাইলে দেখি যে কোন কোন বস্তু সচল এবং কোন কোন বস্তু স্থির। যে-বস্তু সময়ের পরিপ্রেক্ষিতে স্থান হইতে স্থানান্তরে অবস্থান করে তাহাকে আমরা সচল বা গতিশীল বলি, আর যদি একই স্থানে থাকে তবে তাহাকে বলি স্থির। যেমন, গাছপালা, বাড়ীঘর আমাদের নিকট স্থির, কিন্তু চলন্ত রেলগাড়ী, ছুটন্ত ঘোড়া প্রভৃতি গতিশীল। কিন্তু একটু চিন্তা করিলে দেখা যাইবে যে বাড়ীঘর প্রভৃতি যাহাকে আমরা স্থির বলিয়া দেখি তাহা প্রকৃতপক্ষে স্থির নয়। পৃথিবী প্রতি মুহূর্তে প্রচণ্ডবেগে সূর্যের চতুর্দিক প্রদক্ষিণ করিতেছে। সুতরাং পৃথিবীর উপর অবস্থিত বাড়ীঘর প্রভৃতি স্থির থাকে কি করিয়া? মানুষ যদি অন্য গ্রহে যাইতে পারে এবং তথা হইতে পৃথিবীর বাড়ীঘরগুলিকে লক্ষ্য করিতে পারে তাহা হইলে দেখিবে যে, বাড়ীঘর গাছপালা সবই ক্রমাগত ছুটিতেছে। প্রকৃতপক্ষে এই বিশ্বে কোন বস্তু স্থির নয় অর্থাৎ চরম (absolute) স্থিতি কি তাহা আমরা জানি না।

তবে স্থিতি বলিয়া কি কিছুই নাই? আমরা যাহাকে স্থির বস্তু বলিয়া দেখি, তাহা কি? সাধারণ ক্ষেত্রে পারিপার্শ্বিক বস্তুর সাপেক্ষে যদি কোন বস্তু স্থান পরিবর্তন না করে তবে তাহাকেই আমরা স্থির বলি। আর পারিপার্শ্বিক বস্তুর সাপেক্ষে যদি সে স্থান পরিবর্তন করে তবে বলি বস্তুটি গতিশীল। এই স্থিতি এবং গতিকে বলা যাইতে পারে আপেক্ষিক স্থিতি ও গতি। সুতরাং বস্তু গতিশীল কি স্থির তাহা উল্লেখ করিতে হইলে সাধারণত আমরা পৃথিবীকে স্থির মনে করিয়া বস্তুর আপেক্ষিক (relative) গতি ও স্থিতি উল্লেখ করিয়া থাকি।

---

* পাঠক্রম অনুযায়ী বলবিদ্যা একাদশ শ্রেণীর অন্তর্গত। কিন্তু সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান—যাহা নবম ও দশম শ্রেণীর পাঠ্য—তাহা বুঝিবার জন্য বলবিদ্যার প্রাথমিক জ্ঞান প্রয়োজন। ছাত্র ছাত্রীদের সুবিধার্থে এই পরিচ্ছেদে উহা যুক্ত করা হইল।

2. চলন (Translation) ও ঘূর্ণন (Rotation) :

গতি দুই প্রকারের হইতে পারে। যথা :—(1) **চলন** ও (2) **ঘূর্ণন**। যখন কোন বস্তু সরল রেখা অবলম্বন করিয়া চলে তখন তাহার গতিকে **চলন** বলা হয়। যেমন, একটি পাথরকে কিছু উঁচু হইতে ফেলিয়া দিলে, পাথরটি সরলরেখা অবলম্বন করিয়া পড়ে। সুতরাং পড়ন্ত পাথরটির গতিকে চলন বলা যাইবে।

কিন্তু যদি কোন বস্তু কোন নির্দিষ্ট বিন্দু বা অক্ষের চতুর্দিকে চক্রাকারে (circular) পরিভ্রমণ করে, তবে তাহার গতিকে বলা হইবে **ঘূর্ণন**। চলন্ত সাইকেলের চাকার গতি, বৈদ্যুতিক পাখার গতি প্রভৃতি ঘূর্ণনের উদাহরণ।

চলন ও ঘূর্ণনের সমন্বয়ে বস্তুর গতি জটিল হইতে পারে। কিন্তু যত জটিলই হউক না কেন, প্রত্যেক জটিল গতি চলন ও ঘূর্ণনের মিশ্রণে হইতেছে তাহা প্রমাণ করা যায়।

3. চলন সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা :

(ক) **সরণ** (Displacement) : কোন বস্তু যদি একটি নির্দিষ্ট সময়ে এবং একটি নির্দিষ্ট দিকে স্থান পরিবর্তন করে তবে সেই পরিবর্তনকে **সরণ** বলা হয়। বস্তুটির প্রথম এবং শেষ অবস্থানের ভিতর যে রৈখিক দূরত্ব (linear distance) তাহাই বস্তুর সরণের পরিমাপ।

(খ) **দ্রুতি** (Speed) : অবস্থান পরিবর্তনের হারকে (rate) **দ্রুতি** বলে। অর্থাৎ কোন বস্তু এক সেকেণ্ডে যতটা দূরত্ব যাইতে পারে তাহাই বস্তুটির দ্রুতি। দ্রুতি বলিতে কোন রকম দিক্ নির্দেশের প্রয়োজন নাই ; বস্তুটি সরল অথবা বক্র পথে যাইতে পারে।

(গ) **বেগ** (Velocity) : বেগ আমাদের একটি অতি সাধারণ অভিজ্ঞতা। আমরা আমাদের চতুর্দিকে অসংখ্য বিভিন্ন রকমের বেগবান বস্তু দেখিতে পাই। একটি মোটর গাড়ী রাস্তা দিয়া তীব্র বেগে চলিয়া যায়। কিন্তু ঘোড়ার গাড়ী বা রিক্সা অত বেগে যায় না।

রেলগাড়ী যখন কোন স্টেশনের কাছে আসে তখন উহার বেগ আস্তে আস্তে কমিতে থাকে, আবার স্টেশন ছাড়িয়া গেলে বেগ বাড়িতে থাকে।

একটি বল দোতলার সিঁড়ির উপর দিয়া ছাড়িয়া দাও। বলটি সিঁড়ি দিয়া গড়াইতে গড়াইতে নীচে পড়িবে। লক্ষ্য করিলে দেখিবে যে, বলটি যত নীচে যাইতেছে তত উহার বেগ বাড়িতেছে।

ঢালু পাহাড়ের গা দিয়া পাথর গড়াইয়া দিলে উহা ক্রমশ নীচের দিকে পড়িবে এবং ক্রমশ উহার বেগ বাড়িবে।

এইগুলি সবই বেগের উদাহরণ। সুতরাং বলা যাইতে পারে যে, কোন বস্তু যদি এমনভাবে চলে যে কোন নির্দিষ্ট সময়ে উহা একটি বিশেষ অভিমুখে নির্দিষ্ট দূরত্ব অতিক্রম করে তবে ঐ বস্তুর একটি বেগ আছে। যেমন, কোন ট্রেন যদি সর্বদা নির্দিষ্ট দিকে এক ঘণ্টায় 50 মাইল দূরত্ব অতিক্রম করে তবে উহার বেগ হইবে ঘণ্টায় 50 মাইল।

বেগের একক ঃ এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে বেগের একক হইল foot per second এবং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বেগের একক হইল centimetre per second.

(ঘ) **ত্বরণ** (Acceleration)

যদি কোন বস্তুকণা ক্রমবর্ধমান বেগ লইয়া চলে তবে উহার বেগ পরিবর্তনের হারকে বলা হয় **ত্বরণ**।

ধর, কোন মুহূর্তে একটি বস্তুকণার বেগ সেকেণ্ডে 32 ft , 10 সেকেণ্ড সময় পরে উহার বেগ হইল সেকেণ্ডে 52 ft. আরো 10 সেকেণ্ড সময় পরে উহার বেগ দেখা গেল প্রতি সেকেণ্ডে 72 ft. এবং উহা এইরূপ ক্রমবর্ধমান বেগ লইয়া চলিল। এস্থলে দেখা যাইতেছে যে প্রতি 10 সেকেণ্ড সময় পর পর বস্তুকণাটির 20 ft. per second পরিমাণ বেগ পরিবর্তিত হইতেছে। তাহা হইলে উহার বেগ পরিবর্তনের হার প্রতি সেকেণ্ডে $= \frac{20}{10} =$ 2 ft. per second ; সুতরাং ইহাই বস্তুকণার ত্বরণ।

এখানে একটি জিনিস লক্ষ্য করিবে যে 'প্রতি সেকেণ্ডে' (per second) কথাটি দুইবার আসিবে। একবার বেগ বুঝাইবার জন্য এবং অন্যবার বেগ পরিবর্তনের হার বুঝাইবার জন্য। এইজন্য ত্বরণের একক বলিতে 'বর্গ সেকেণ্ড' বা 'per second per second' কথা ব্যবহৃত হয়।

ত্বরণের একক ঃ এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে ত্বরণের একক হইল 'foot per second per second' এবং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ত্বরণের একক হইল 'centimetre per second per second'.

(ঙ) **মন্দন** (Retardation) ঃ যদি কোন বস্তুকণা ক্রমহ্রসমান বেগ লইয়া চলে তবে তাহার বেগ পরিবর্তনের হারকে **মন্দন** বলে। মন্দনকে আমরা ঋণাত্মক (negative) ত্বরণও বলিতে পারি।

উদাহরণস্বরূপ ধরা যাউক, একটি বস্তুকণার কোন এক সময়ের বেগ দেখা গেল সেকেণ্ডে 32 ft. ; 2 সেকেণ্ড পর তাহার বেগ হইল সেকেণ্ডে 28 ft, এবং আরো দুই সেকেণ্ড সময় পর তাহার বেগ কমিয়া দাঁড়াইল সেকেণ্ডে 24 ft. ; এই রকম বেগ কমিতে থাকিলে বলা হয় বস্তুটির মন্দন হইতেছে। এস্থলে দেখা যাইতেছে যে প্রতি 2 সেকেণ্ড সময় পরপর বস্তুটির বেগ কমিতেছে 4 ft. করিয়া। সুতরাং প্রতি সেকেণ্ডে তাহার বেগ পরিবর্তিত হইতেছে $\frac{4}{2}=2$ ft. প্রতি সেকেণ্ডে। অর্থাৎ তাহার মন্দনের পরিমাণ প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে 2 ft.

4. নিউটনের গতিসূত্র (Newton's laws of motion):

নিউটনের গতিসূত্র হইতে আমরা জানিতে পারি যে, কিভাবে বস্তু চলিতে আরম্ভ করে অথবা তাহার গতি ত্বরান্বিত বা মন্দীভূত হইতে পাবে। আমরা জানি কোন স্থির বস্তুকে গতিশীল করিতে হইলে বাহির হইতে তাহার উপর কিছু আরোপ করিতে হয়। যেমন, একটি বলকে ধাক্কা দিলে বলটি চলিতে সুরু করে। এই যে বাহির হইতে ধাক্কা দেওয়া হইল, বিজ্ঞানের ভাষায় ইহাকে বলা হল **বল** (force) প্রয়োগ করা হইল। নিউটনের গতিসূত্র হইতে বস্তুর ভর, উহার গতি এবং উহার উপর প্রদত্ত বলের ভিতর সম্বন্ধ বাহির করা যায়।

প্রথম সূত্র: বাহির হইতে প্রযুক্ত (externally impressed) বল দ্বারা অবস্থার পরিবর্তন না করিলে, অচল বস্তু চিরকাল অচল অবস্থাতেই থাকিবে এবং সচল বস্তু সমবেগে সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চিরকাল চলিতে থাকিবে।

[Everybody continues in its state of rest or uniform motion in a straight line except in so far as it be compelled by external impressed force to change that state.]

দ্বিতীয় সূত্র: কোন বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হার বস্তুটির উপর প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক এবং বল যে দিকে প্রযুক্ত হয় ভরবেগের পরিবর্তনও সেই-দিকে ঘটে।

[Rate of change of momentum is proportional to the impressed force and takes place in the direction in which the force acts.]

তৃতীয় সূত্র ঃ প্রত্যেক ক্রিয়ারই সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে।

[To every action there is an equal and opposite reaction.]

5. প্রথম সূত্রের আলোচনা ঃ

প্রথম সূত্র হইতে আমরা নিম্নলিখিত দুইটি বিষয় জানিতে পারি।

(1) **পদার্থের জাড্য** (Inertia of matter) এবং (2) **বলের সংজ্ঞা**।

পদার্থের জাড্য ঃ প্রথম সূত্রে এই কথা বলা হইয়াছে যে, কোন জড় বস্তু যদি স্থির থাকে তাহা হইলে তাহার ধর্ম হইল চিরদিন স্থির থাকা এবং যদি গতিশীল হয় তবে তাহার ধর্ম হইল চিরদিন সমবেগে সরলরেখায় গতি বজায় রাখা। পদার্থের এই ধর্ম অর্থাৎ যে অবস্থায় তাহাকে রাখা হইল সেই অবস্থাকে বজায় রাখার চেষ্টা—এই ধর্মকেই বলে পদার্থের জাড্য। সুতরাং জাড্যকে দুই ভাগে ভাগ করিয়া বলা যাইতে পারে, (1) স্থিতি জাড্য (inertia of rest) এবং (2) গতি জাড্য (inertia of motion)।

স্থিতি জাড্য সম্বন্ধে ধারণা করা কিছু কঠিন নয়। কারণ আমাদের প্রতিদিনের অভিজ্ঞতাই হইল এই যে কোন বস্তুকে কোথাও যদি রাখি তবে যতক্ষণ পর্যন্ত না তাহাকে ধাক্কা দেওয়া হইতেছে বা ঠেলা দেওয়া হইতেছে—অর্থাৎ বাহ্যিক বল প্রয়োগ করা হইতেছে ততক্ষণ পর্যন্ত সে ঐ জায়গাতেই থাকিবে। হঠাৎ বস্তুটি চলিতে আরম্ভ করে না। সুতরাং সাধারণ বুদ্ধি দ্বারা স্থিতি জাড্য বোঝা খুবই সহজ।

কিন্তু কোন বস্তুকে যদি মাটিতে গড়াইয়া দেওয়া যায় তাহা হইলে বস্তুটি কিছুক্ষণ পরে থামিয়া যায়। তাহা হইলে বস্তুটি চিরদিন গতিশীল হইল কোথায়? গতি জাড্যের সত্যতা প্রমাণিত হইল কিরূপে? এখানে একটা কথা আমরা ধরি নাই। সেটা হইতেছে এই যে, বস্তুটি মাটিতে গড়াইবার সময় বাহ্যিক বলের দ্বারা প্রভাবিত হইতেছে। মাটির সহিত ঘর্ষণজাত বল, হাওয়ার দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হওয়ার বল প্রভৃতি বস্তুর উপর কাজ করে বলিয়া বস্তুটি কিছুক্ষণ পরে থামিয়া যায়। মাটিতে একটি বল গড়াইয়া দিলে বলটি যতদূর যাইবে মসৃণ মেঝে বা বরফের উপর তাহা অপেক্ষা অনেক বেশী দূর যাইবে। কারণ মসৃণ মেঝে বা বরফে ঘর্ষণজাত বাধা মাটি অপেক্ষা অনেক কম। সুতরাং এই সব বাহ্যিক বল সম্পূর্ণ অপসারিত করিলে বস্তুটি সর্বদা গতি বজায় রাখিবে। এই ভাবে আমরা গতিজাড্য ধারণা করিয়া লইতে পারি।

(ক) যখন যাত্রীসহ কোন স্থির গাড়ী হঠাৎ বেগে চলিতে আরম্ভ করে তখন প্রত্যেক যাত্রীই পিছন দিকে হেলিয়া পড়ে। ইহা স্থিতি জাড্যের একটি দৃষ্টান্ত। গাড়ী যতক্ষণ স্থির ততক্ষণ যাত্রীর দেহও স্থির। হঠাৎ গাড়ী চলিলে যাত্রীর দেহের নিম্নাংশ গাড়ীর সহিত সংলগ্ন বলিয়া গতিশীল হয় কিন্তু উর্ধ্বাংশ স্থিতি জাড্যের দরুন স্থির থাকিতে চেষ্টা করে। ফলে যাত্রী পিছন দিকে হেলিয়া পড়ে।

(খ) ক্যারম খেলিতে গিয়া তোমরা হয়ত লক্ষ্য করিয়া থাকিবে যে দুইটি ঘুঁটি একটি আর একটির উপর থাকিলে তলার ঘুঁটিটিকে ষ্ট্রাইকার দিয়া সজোরে আঘাত করিলে তলার ঘুঁটিটি সরিয়া যায় কিন্তু উপরের ঘুঁটিটি না সরিয়া টুপ্ করিয়া তলার ঘুঁটির জায়গা দখল করে। ইহাও স্থিতিজাড্যের উদাহরণ। আঘাত খুব জোরে এবং অল্প সময়ের মধ্যে হওয়ার ফলে উপরের স্থির ঘুঁটির স্থিতিজাড্য নষ্ট হয় না—উহা স্থিরই থাকে কিন্তু নীচের ঘুঁটি সরিয়া যাওয়ায় উহা ঐ স্থান অধিকার করে, একটুও পাশে সরিয়া যায় না।

(গ) যখন চলন্ত গাড়ী হইতে কোন আরোহী অসাবধানে নামে তখন তাহাকে সামনের দিকে পড়িয়া যাইতে দেখা যায়। ইহা গতিজাড্যের দৃষ্টান্ত। চলন্ত গাড়ীতে থাকার ফলে আরোহীর সমস্ত দেহই গতিশীল। কিন্তু মাটিতে পা দিবার সঙ্গে সঙ্গে তাহার দেহের নিম্নাংশ স্থির হয় কিন্তু গতিজাড্যের দরুন দেহের উর্দ্ধাংশ গতি বজায় রাখিতে চেষ্টা করে। ফলে, সম্মুখের দিকের ধাক্কা সামলাইবার জন্য তাহাকে পিছনের দিকে ঝুঁকিতে দেখা যায়।

(ঘ) চলন্ত গাড়ীর কামরার কোন আরোহী যদি একটি বলকে সোজা উপরের দিকে ছুঁড়িয়া দেয় তবে কিছুক্ষণ পরে বলটি আবার তাহার হাতে আসিয়া পড়ে, যদিও ইতিমধ্যে আরোহী সামনের দিকে খানিকটা আগাইয়া যায়। ইহাও গতিজাড্যের দৃষ্টান্ত।

বলের সংজ্ঞা ঃ প্রথম সূত্র হইতে আমরা ইহাও জানিতে পারি যে, কোন বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন করিতে হইলে বাহির হইতে বস্তুটির উপর কিছু আরোপ করিতে হয়। স্থির বস্তুকে সচল করিতে বা সচল বস্তুকে স্থির অবস্থায় আনিতে অথবা জোরে কিংবা আস্তে চালাইতে হইলে বাহ্যিক কিছু প্রয়োগ না করিলে হয় না। বস্তু আপনা হইতে চলিতে পারে না বা স্থির হইতেও পারে না। বাহির হইতে যাহা প্রয়োগ করিয়া বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন করা হয় বা পরিবর্তন করিবার চেষ্টা করা হয় তাহাকেই **বল** বলে।

৪. [illegible]র আলোচনা ঃ

দ্বিতীয় সূত্র হইতে আমরা বলের পরিমাপ এবং বল ও ত্বরণের বা মন্দনের সম্বন্ধ নির্ণয় করিতে পারি। দ্বিতীয় সূত্র আলোচনা করার পূর্বে **ভরবেগ** (momentum) সম্বন্ধে কিছু বলা প্রয়োজন।

ভরবেগ ঃ ভর ও বেগের সমন্বয়ে কোন গতিশীল বস্তুতে যে-ধর্মের উৎপত্তি হয় তাহাকে ভরবেগ বলে এবং ইহা বস্তুর ভর ও বেগের গুণফলের সমান। যদি কোন বস্তুর ভর 'm' এবং বেগ হয় 'v', তবে উহার ভরবেগ $= m \times v$.

বলের পরিমাপ ও $P = mf$ সমীকরণ ঃ

মনে কর, কোন বস্তুর ভর 'm' এবং উহা 'u' বেগে চলিতেছে। এখন 't' সময় ধরিয়া বস্তুটির উপর যদি P-বল প্রয়োগ করা হয় তবে উহার বেগ পরিবর্তিত হইবে। ধরা যাউক 't' সময় পরে উহার বেগ হইল v.

সুতরাং বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তন $= mv - mu$

অথবা, ভরবেগের পরিবর্তনের হার $= \dfrac{mv - mu}{t} = \dfrac{m(v-u)}{t}$

$$= mf \quad \left[\because \text{ ত্বরণ } f = \frac{v-u}{t} \right]$$

এখন, দ্বিতীয় সূত্র হইতে আমরা জানি যে,

$P \propto$ ভরবেগের পরিবর্তনের হার

বা. $P \propto mf$

সুতরাং $P = K\,mf$ [K একটি ধ্রুবক]

এখন, যদি আমরা ধরিয়া লই যে একক ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া একক ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে যে-বল, তাহাই বলের একক, অর্থাৎ $P = 1$, যখন $m = 1$ এবং $f = 1$, তাহা হইলে $K = 1$.

বলের এককের উপযোক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাইতেছি $P = mf$. অর্থাৎ **বল = ভর × ত্বরণ**

ইহাই বলের মান নির্দেশক সমীকরণ।

উল্লিখিত সমীকরণ হইতে আমরা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি জানিতে পারি ঃ

(ক) যদি কোন বল কোন ভর m-এর উপর ক্রিয়া করিয়া f ত্বরণ সৃষ্টি করে, তবে,

বলের পরিমাণ = ভর (m) × ত্বরণ (f)।

(খ) যদি কোন বল P কোন গতিশীল ভর m-এর উপর এমন ভাবে ক্রিয়া করে যে বলের অভিমুখ ও ভরের গতির অভিমুখ একই, তবে বস্তুটির গতি ত্বরান্বিত হইবে এবং ত্বরণ $f=\frac{P}{m}$

(গ) যদি কোন বল P কোন গতিশীল ভর 'm'-এর উপর এমনভাবে ক্রিয়া করে যে বলের অভিমুখ ও ভরের গতির অভিমুখ বিপরীত তবে বস্তুটির গতি মন্দীভূত হয় এবং মন্দন $f'=\frac{P}{m}$

বিভিন্ন পদ্ধতিতে বলের একক (Units of force in different systems) : সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বলের একক-কে বলা হয় **ডাইন** (Dyne)—ইহা এমন বল যে এক গ্র্যাম ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে এক সেণ্টিমিটার ত্বরণ সৃষ্টি করে।

এফ পি. এস্. পদ্ধতিতে বলের একক-কে বলা হয় **পাউণ্ডাল** (poundal)। ইহা এমন বল যে এক পাউণ্ড ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া প্রতি বর্গসেকেণ্ডে এক ফুট ত্বরণ সৃষ্টি করে।

এই দুই একক-কে অর্থাৎ ডাইন ও পাউণ্ডালকে **চরম** (absolute) একক বলে।

7. তৃতীয় সূত্রের আলোচনা :

ধরা যাউক A এবং B দুইটি বস্তু। যদি A বস্তু B-র উপর বলপ্রয়োগ করে তাহা হইলে তৃতীয় সূত্রানুযায়ী B বস্তু A-র উপর সমান ও বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করিবে। A-র দ্বারা প্রযুক্ত বলকে যদি **ক্রিয়া** বলা যায় তবে B-র দ্বারা প্রযুক্ত বলকে **প্রতিক্রিয়া** বলা হইবে। এই নিয়ম যে-কোন দুইটি বস্তুর বেলাতেই খাটিবে—বস্তু দুইটি সচল কি নিশ্চল হউক, সংস্পর্শে থাকুক কি না থাকুক। ইহার বহু দৃষ্টান্ত আমাদের প্রতিনিয়ত দৃষ্টিগোচর হয়।

যেমন, যখন কোন আরোহী নৌকা হইতে লাফাইয়া তীরে পৌছায় তখন নৌকাটি পিছনে হটিয়া যায়। আরোহী নৌকার উপর যে-বল প্রয়োগ করে তাহার ফলে নৌকাটি পিছনে সরে এবং নৌকা আরোহীর উপর যে-সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে তাহার ফলে আরোহী তীরে পৌছায়।

8. চাপ (Pressure) :

প্রতি একক ক্ষেত্রে (unit area) প্রযুক্ত বলের পরিমাণকে **চাপ** বলা হয়। যদি A ক্ষেত্রফলের উপর মোট P বল প্রযুক্ত হয়, তবে উক্ত ক্ষেত্রফলের উপর চাপ $= \frac{P}{A}$.

চাপের একক : সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে চাপের একক হইবে dynes / sq. cm. এবং এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে একক হইবে poundals/sq. ft.

9. মহাকর্ষ ও অভিকর্ষ (Gravitation and gravity) :

এই বিশ্বের যে-কোন দুইটি বস্তুকণা পরস্পরকে আকর্ষণ করে এবং এই আকর্ষণের মান বস্তুকণা দুইটির ভরের গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের ভিতরকার দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক (inversely proportional)। ইহাই নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র।

পৃথিবীর উপর বা পৃথিবীর কাছাকাছি অবস্থিত কোন বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণকে **অভিকর্ষ** বলা হয়। এই অভিকর্ষের ফলেই গাছ হইতে ফল পড়িলে ফলটি পৃথিবীর অভিমুখে ধাবিত হয় বা কোন বস্তুকে পড়িতে দিলে পৃথিবীর দিকে পড়ে।

নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে আমরা জানি যে, কোন বল যদি কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করে তবে বস্তুর গতি ত্বরান্বিত হয় অর্থাৎ একটি ত্বরণ সৃষ্টি হয়। সুতরাং অভিকর্ষ বলের ক্রিয়ায় যখন কোন বস্তু পৃথিবীর দিকে পড়ে তখন তাহারও একটি ত্বরণ হয়। এই ত্বরণকে বলা হয় **অভিকর্ষজ ত্বরণ** (acceleration due to gravity) এবং ইহাকে 'g' অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

প্রমাণ করা যায় যে কোন স্থানে 'g'-এর মান পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে ঐ স্থানের দূরত্বের বর্গের ব্যস্ত-অনুপাতিক। সুতরাং দূরত্ব বাড়িলে 'g'-এর মান কমিবে এবং দূরত্ব কমিলে 'g'-এর মান বাড়িয়া যাইবে। এই কারণে ভূ-পৃষ্ঠে 'g'-এর মান পাহাড়ের উপর কোন স্থানের 'g'-এর মানের চাইতে বেশী। আবার পৃথিবী সম্পূর্ণ গোলাকার নয়, মেরুপ্রান্ত একটু চাপা। সুতরাং পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে মেরুদ্বয়ের দূরত্ব নিরক্ষরেখার (equator) দূরত্বের চাইতে কম

এই কারণে মেরুপ্রান্তে 'g'-এর মান নিরক্ষরেখায় g-এর মান হইতে বেশী। নিম্নে দুই পদ্ধতিতে 'g'-এর গড় মান দেওয়া হইল :—

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে $g = 981$ cm/sec^2

এবং **এফ্. পি এস্ পদ্ধতিতে $g = 32$ ft/sec^2**

10. বলের অভিকর্ষীয় একক (Gravitational unit of force) **:**

পূর্বে বলের চরম এককের কথা বলা হইয়াছে। ইহা ছাড়াও বলের আর একটি একক আছে। এই একক অভিকর্ষের উপর প্রতিষ্ঠিত বলিয়া ইহাকে অভিকর্ষীয় একক বলে।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এই এককের নাম **গ্র্যাম-ভার** (gramme-weight)—এক গ্র্যাম ভর-সম্পন্ন বস্তু যে-বলের দ্বারা পৃথিবী কর্তৃক আকর্ষিত হয় তাহাই গ্র্যামভার।

কাজেই, 1 গ্র্যাম-ভার $= 1$ গ্র্যাম $\times g = g$ ডাইন $= 981$ ডাইন।

এফ্. পি. এস্ পদ্ধতিতে এই এককের নাম **পাউণ্ড-ভার** (Pound-weight)—এক পাউণ্ড ভর সম্পন্ন বস্তু যে-বলের দ্বারা পৃথিবী কর্তৃক আকর্ষিত হয় তাহাই পাউণ্ড-ভার।

কাজেই, 1 পাউণ্ড-ভার $= 1$ পাউণ্ড $\times g = g$ পাউণ্ডাল $= 32$ পাউণ্ডাল।

11. বস্তুর ওজন (Weight of a body) **:**

কোন বস্তুকে হাতের উপর রাখিলে আমরা নিম্নাভিমুখী বল অনুভব করি। বস্তুটি খুব ভারী হইলে এই বল এত বেশী হয় যে আমরা হাতের উপর উহাকে রাখিতে পারি না। কেন এই বল অনুভূত হয়? কারণ, বস্তুটিকে পৃথিবী সর্বদা আকর্ষণ করিতেছে। অর্থাৎ, এই বল অভিকর্ষজ বল (force of gravity)। **কোন বস্তুর উপর পৃথিবী মোট যে অভিকর্ষজ বল প্রয়োগ করে তাহাই হইল বস্তুর ওজন।** সুতরাং মনে রাখিতে হইবে যে ওজন কার্যত একটি বল।

আমরা নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র হইতে জানি,

$$\text{বল} = \text{ভর} \times \text{ত্বরণ}$$

কাজেই, কোন বস্তুর উপর অভিকর্ষজ বল মাপিতে গেলে বস্তুর ভরকে অভিকর্ষজ ত্বরণ দ্বারা গুণ করিতে হইবে এবং এই অভিকর্ষজ বলকেই যখন ওজন বলা হয়, তখন বস্তুর ওজন $W = \text{ভর} \times \text{অভিকর্ষজ ত্বরণ}$

$$= m \times g$$

সারাংশ

গতি দুই প্রকার :—(ক) চলন ও (খ) ঘূর্ণন।

নিউটনের প্রথম গতি সূত্র হইতে (1) পদার্থের জাড্য ও (2) বলের সংজ্ঞা জানিতে পারি। দ্বিতীয় সূত্র হইতে বলের পরিমাপ করিতে পারি এবং তৎসংক্রান্ত সমীকরণ হইল $P=mf$

বলের চরম একক : (1) ডাইন এবং (1) পাউণ্ডাল।

বলের অভিকর্ষীয় একক : (1) গ্রাম-ভার এবং (2) পাউণ্ড-ভার।

প্রশ্নাবলী

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির যথাযথ সংজ্ঞা লিখ :—(1) বেগ (2) ত্বরণ (3) মন্দন।

[Define the following quantities —(1) Velocity, (2) acceleration (3) retardation]

2. নিউটনের গতিসূত্র বর্ণনা কর এবং প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্র উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

[State Newton's laws of motion and illustrate the first and the second law]

3. নিউটনের গতিসূত্র বর্ণনা করিয়া বুঝাইয়া দাও কিরূপে প্রথম সূত্র হইতে বলের সংজ্ঞা এবং দ্বিতীয় সূত্র হইতে বলের পরিমাপ করা যায়।

[State Newton's laws of motion and explain how from the first law a definition of force and from the second law measurement of force may be obtained]

4. নিউটনের গতি সূত্র হইতে $P=mf$ সমীকরণটি প্রমাণ কর এবং তাহা হইতে দুই পদ্ধতিতে বলের চরম একক বুঝাইয়া লেখ।

[Establish the equation $P=mf$ from Newton's laws of motion and explain therefrom the absolute units of force in the two systems]

5. বল এবং চাপের ভিতর পার্থক্য কি ? চাপের একক কি কি ?

[What is the difference between pressure and force ? What are the units of pressure ?]

6. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র কি ? অভিকর্ষজ ত্বরণ বলিতে কি বোঝ ? অভিকর্ষজ ত্বরণ দূরত্বের উপর কিরূপভাবে নির্ভর করে ?

[What is Newton's Gravitational law ? What do you mean by acceleration due to gravity ? How does it depend upon distance ?]

7. অভিকর্ষজ ত্বরণ বলিতে কি বোঝ ? সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহা কি একক দ্বারা প্রকাশ করা হয় ?

[What do you mean by 'acceleration due to gravity ?' What are the units in which this quantity is expressed in the C G S, and F. P. S. systems ?]

8. বস্তুর ওজন বলিতে কি বুঝায় ?

[What is meant by 'weight of a body' ?]

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

উদস্থিতি বিদ্যা [Hydrostatics]

2-1. সূচনা :

স্থির তরল পদার্থ কতগুলি বৈশিষ্ট্যের অধিকারী। এই বৈশিষ্ট্যগুলির আলোচনা করাই উদস্থিতি বিদ্যার উদ্দেশ্য। উদস্থিতি বিদ্যায় যে-তরলের কথা বলা হইবে এই তরল কয়েকটি গুণবিশিষ্ট। অর্থাৎ, তরলের সংনম্যতা (compressibility) থাকিবে না এবং তরল ঘর্ষণজাত (frictional) বল-প্রয়োগ করিবে না। তাছাড়া তরলের নিজস্ব আয়তন থাকে কিন্তু কোন বিশেষ আকার থাকে না—যে-পাত্রে রাখা যায় তরল সেই পাত্রেরই আকার ধারণ করে।

2-2. তরলের চাপ (Pressure of liquid) :

কোন বস্তুকে কোন তলের (surface) উপর রাখিলে বস্তু ঐ তলের উপর নিজের ওজনের সমান বল প্রয়োগ করিবে। ইহাতে ঐ তল যে ঘাত (thrust) সহ্য করিবে তাহা শুধু যে বলের উপর নির্ভর করে তাহা নয়, ঐ বস্তু ও তলের সহিত সংস্পর্শযুক্ত ক্ষেত্রফলের উপরও নির্ভর করিবে। কোন ব্যক্তি যদি আলগা বালির উপর দাঁড়াইবার চেষ্টা করে তবে তাহার পা বালির ভিতর গভীর ভাবে ঢুকিয়া যায় কিন্তু বালির উপর শুইয়া পড়িলে সমস্ত দেহ বালির ভিতর অত গভীর ভাবে ঢুকিবে না। দাঁড়াইয়া থাকিবার সময় ব্যক্তির দেহের সমস্ত ওজন তাহার পায়ের ক্ষেত্রফলের উপর পড়িতেছে, কাজেই প্রতি বর্গ ইঞ্চি বালিতে বেশী বল পড়ায় বালি বেশী পরিমাণে সরিয়া যাইতেছে। শুইয়া থাকিলে বালির উপর যে বল পড়িবে তাহা পূর্বের মত দেহের ওজনের সমান হইলেও, ঐ বল অনেকখানি ক্ষেত্রফল ব্যাপিয়া পড়িতেছে। সুতরাং প্রতি বর্গইঞ্চি বালিতে বলের পরিমাণ এক্ষেত্রে পূর্বাপেক্ষা অনেক কম হইবে। কাজেই, দেহ বালির ভিতর বেশী ঢুকিবে না।

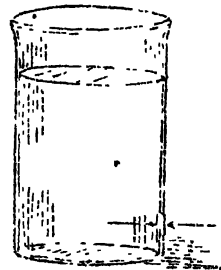
সমতলভূমিতে মানুষ যখন হাঁটিয়া যায়, তখন ভূমির সহিত সংলগ্ন পায়ের ক্ষেত্রফলের উপর মানুষের দেহের ওজন ক্রিয়া করে। কিন্তু পাথরটুকরার উপর

বিশেষতঃ তীক্ষাগ্র পাথরটুকরার উপর হাঁটিলে পায়ে বেশ ব্যথা লাগে কারণ তখন খুব অল্প ক্ষেত্রফলের উপর দেহের ওজন ক্রিয়া করে।

সুতরাং কোন তলের উপর বলের ক্রিয়া বিবেচনা করিবার সময় সমস্ত বলের কথা চিন্তা না করিয়া প্রতি একক ক্ষেত্রে বলের কথা চিন্তা করিতে হইবে। **ইহাকেই চাপ** (Pressure) বলা হয়।

তরল পদার্থের সহিত কোন বস্তুর সংস্পর্শ ঘটিলে তরল অনুরূপভাবে ঐ বস্তুর উপর চাপ প্রদান করিবে। **প্রতি একক ক্ষেত্রে** (unit area) **তরল যে বল-প্রয়োগ করে, তাহাকে তরলের চাপ বলে।**

পরীক্ষা : (1) একটি লম্বা জার জলপূর্ণ কর। এখন একটি টেস্টটিউবের বদ্ধমুখ নীচের দিকে করিয়া জলের ভিতর খানিকটা ডুবাও এবং পরে ছাড়িয়া দাও। দেখিবে টেস্টটিউবটি লাফ দিয়া জলের বাহিরে পড়িবে। টেস্টটিউবের তলায় জলের চাপ পড়ে বলিয়া এইরূপ হয়।

(2) দেওয়ালে ছিদ্র আছে এরূপ একটি পাত্রে জল ঢাল (2ক নং চিত্র)। দেখিবে ছিদ্র দিয়া জল বাহির হইয়া আসিতেছে। ছিদ্রের আকারের সমান একটি চাকৃতি ছিদ্রের মুখে রাখিয়া জল-প্রবাহ বন্ধ করা যায়। কিন্তু চাকৃতিটিকে স্থির রাখিতে হইলে উহার উপর বাহির হইতে জলপ্রবাহের বিপরীত দিকে বল-প্রয়োগ করিতে হইবে। সুতরাং ইহা হইতে বোঝা যায় যে জল পাত্রের দেওয়ালে বল প্রয়োগ করে।

চিত্র 2ক

2-3. কোন বিন্দুতে তরলের চাপ (Pressure of a liquid at a point) ও **ঘাত** (Thrust) :

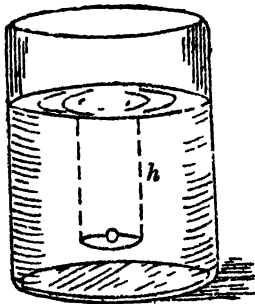
যে-বিন্দুতে তরলের চাপ নির্ণয় করিতে হইবে উহার চতুর্দিকে তরলের উপরতলের সমান্তরাল করিয়া একটি ছোট ক্ষেত্রফল A কল্পনা কর। যদি মনে করা যায় যে উক্ত ক্ষেত্রফলের উপর তরল মোট বল F প্রয়োগ করিতেছে, তবে ঐ বিন্দুতে তরলের চাপ হইবে $F \div A$

ঘাত বলিতে ঐ ক্ষেত্রফলের উপর তরল মোট যে বল প্রয়োগ করিতেছে, তাহাই বুঝায়। অর্থাৎ, **ঘাত = চাপ × ক্ষেত্রফল।**

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ঘাতের একক ডাইন কিন্তু চাপের একক ডাইন প্রতি বর্গ সে. মি.।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘাতের একক পাউণ্ডাল কিন্তু চাপের একক পাউণ্ডাল প্রতি বর্গ ফুট।

2-4. তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে চাপের পরিমাণ নির্ণয় (Calculation of pressure at a point in a liquid) :

মনে কর, একটি পাত্রে খানিকটা তরল রাখা হইল এবং তরলের ভিতর 'h' গভীরতায় একটি বিন্দু O আছে (2খ নং চিত্র)। O বিন্দুতে তরলের চাপ কত তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। O বিন্দুর চতুর্দিকে তরলের উপরতলের সমান্তরাল একটি একক ক্ষেত্রফল কল্পনা কর এবং ঐ ক্ষেত্রফলের সীমানা হইতে কতকগুলি লম্ব তরলের উপরতল পর্যন্ত টান। ইহার ফলে তরলের একটি চোঙ্ (cylinder) পাওয়া যাইবে। এই তরলের চোঙের যাহা ওজন, তাহাই হইল O বিন্দুর চতুর্দিকস্থ একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বল। অর্থাৎ, এই তরল চোঙের ওজন O বিন্দুতে তরলের চাপের সমান।

চিত্র 2খ

চোঙ্‌টির আয়তন $= h \times 1$ [কারণ চোঙ্‌টির গোলমুখের ক্ষেত্রফল $= 1$]

সুতরাং চোঙ্‌টির ভর = আয়তন × ঘনত্ব

$= h \times d$ [যদি d তরলের ঘনত্ব ধরা যায়]

অর্থাৎ, চোঙ্‌টির ওজন = ভর × g

$= h \times d \times g$

সুতরাং O বিন্দুতে চাপ $P = h\,d.g$

অর্থাৎ **চাপ = গভীরতা × ঘনত্ব × অভিকর্ষজ ত্বরণ।**

অথবা, চাপ ∝ গভীরতা × ঘনত্ব [কারণ 'g' ধ্রুবক]

এই কারণে চাপকে গভীরতার দ্বারা প্রকাশ করিবার একটি বিকল্প পদ্ধতি আছে। যেমন, (অনেক সময় বলা হয় যে '100 ft জলের চাপ" ইহার অর্থ যে 100 f গভীরে জলের যে চাপ হইবে তাহা।)

উদাহরণ :

(1) কোন তরলের ভিতর 200 cm গভীরতায় কোন বিন্দুতে চাপ কত নির্ণয় কর। তরলের ঘনত্ব 1·03 gms/cc.

[Calculate the pressure at a point 200 cm deep in a liquid having density 1·03 gms/cc.]

উ। এস্থলে $h = 200$ cm. ; $d = 1·03$ gms/cc. ; $g = 981$ cm/sec^2

নির্দিষ্ট বিন্দুতে চাপ, $P = h.d.g = 200 \times 1·03 \times 981$

$= 202086$ dynes/sq.cm.

(2) একটি চোঙের ব্যাস 14 cm. ও উচ্চতা 40 cm. ; চোঙটি পারদ (ঘনত্ব 13·6 gms/cc.) দ্বারা পূর্ণ করিলে উহার তলদেশে কত ঘাত পড়িবে ?

[The diameter of a cylinder is 14 cm and its height 40 cm. If the cylinder is full of mercury (density = 13·6 gms/cc.) what is the thrust on the bottom of the cylinder ?]

উ। চোঙটির তলদেশে যে-কোন বিন্দুতে চাপ

$P = h\,d.g = 40 \times 13·6 \times 981$ dynes/sq cm.

চোঙটির তলদেশের ক্ষেত্রফল $= \pi r^2 = \frac{22}{7} \times 7 \times 7 = 154$ sq.cm.

সুতরাং, তলদেশে ঘাত = চাপ × ক্ষেত্রফল

$= 40 \times 13·6 \times 981 \times 154$ dynes.

$= 82184256$ dynes.

(3) একটি নলের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 8 sq cm. এবং উহাতে এমনভাবে সীসা ভর্তি করা হইল যে নলের মোট ওজন হইল 40 gm. জলের ভিতর ঐ নলটি কত গভীরতা পর্যন্ত ডুবিয়া যাইবে ? কোন তরলে উহা 2·5 cm ডুবিয়া গেলে ঐ তরলের ঘনত্ব কত ?

[A tube whose area of cross-section is 8 sq.cm. is loaded with lead shots till its total weight is 40 gms. To what depth will it sink in water and what is the density of a liquid to which it sinks to a depth of 2·5 cm ?]

উ। নল কর্তৃক প্রদত্ত চাপ $= \frac{\text{ওজন}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{40}{8} = 5$ gms-wt per sq.cm.

এখন, গভীরতা $= \frac{\text{চাপ}}{\text{ঘনত্ব}} = \frac{5}{1} = 5$ cm.

অর্থাৎ জলে নলটি 5 cm ডুবিয়া যাইবে।

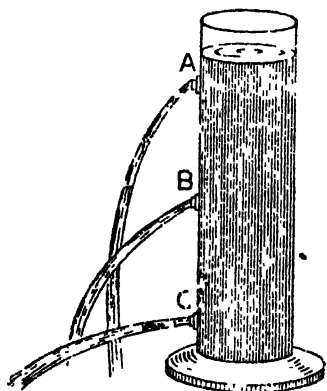
দ্বিতীয় তরলের বেলাতে, ঘনত্ব $= \frac{\text{চাপ}}{\text{গভীরতা}} = \frac{5}{2 \cdot 5} = 2$ gms/c.c.

অর্থাৎ ঐ তরলের ঘনত্ব = 2 gms/c.c.

2-5. তরলের চাপের কতকগুলি বৈশিষ্ট্য (Some characteristics of liquid pressure) :

(ক) **স্থির তরল পদার্থের অভ্যন্তরে কোন বিন্দুতে চাপ বিন্দুটির গভীরতার উপর নির্ভর করে** (Pressure at a point within a liquid at rest, depends on the depth of the point) :

তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে চাপ নির্ণয় করিতে গিয়া আমরা দেখিয়াছি যে চাপ গভীরতার সমানুপাতিক। অর্থাৎ গভীরতা বাড়িলে চাপ বাড়িবে এবং গভীরতা কমিলে চাপ কমিবে। ডুবুরীরা যখন সমুদ্রে ডুব দেয়, তখন যত তলায় যায়, তত বেশী চাপ অনুভব করে। ইহা একটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা বুঝানো যাইবে।

পরীক্ষা : একটি লম্বা চোঙের গায়ে পরপর তিন-চারটি ছিদ্র কর এবং ছিদ্রগুলি মোম দ্বারা আটকাইয়া দাও। চোঙটি কোন তরল—ধর জল দ্বারা পূর্ণ কর। এখন একটি পিন দিয়া তাড়াতাড়ি একই সঙ্গে মোমগুলি ছিদ্র করিয়া দাও। দেখিবে ছিদ্র দিয়া জলের ধারা বাহির হইয়া আসিতেছে এবং সব চাইতে তলার ছিদ্র C দিয়া জল সর্বাপেক্ষা দূরে যাইতেছে (2গ নং চিত্র), এবং সব চাইতে উপরের ছিদ্র A দিয়া জল সর্বাপেক্ষা কম দূরে যাইতেছে। এই পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় যে C বিন্দুতে জলের চাপ সর্বাপেক্ষা বেশী এবং A বিন্দুতে সর্বাপেক্ষা কম, অর্থাৎ জলের চাপ গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়।

জলের চাপ গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়
চিত্র 2গ

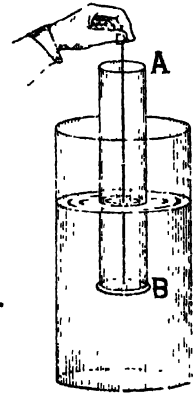
তাছাড়া, ভালভাবে লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে প্রতি ছিদ্র দিয়া জলধারা পাত্রের দেওয়ালের সহিত লম্বভাবে নির্গত হইতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে

তরল দেওয়ালের উপর যে-চাপ প্রয়োগ করে তাহা দেওয়ালের সহিত লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

জলের চাপ গভীরতার সঙ্গে বৃদ্ধি পায় বলিয়া জলের বাঁধ (dam) নির্মাণ করিবার সময় বাঁধের শীর্ষদেশ অপেক্ষা তলদেশ বেশী পুরু করিয়া তৈয়ারী করিতে হয়।

(খ) কোন বিন্দুতে স্থির তরলের ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমান (Liquid, at rest, exerts pressure in vertically upward and downward directions at a point within it and they are equal) :

কোন বিন্দুতে জলের ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমান
চিত্র 2ঘ

পরীক্ষা : একটা মোটা কাচের পাত্র আধাআধি জলপূর্ণ কর। একটি দুমুখ খোলা কাচের চোঙ্ A লও ও আংটাযুক্ত একটি ধাতব চাক্তি B লও যাহা A চোঙ্টির মুখ নিশ্ছিদ্রভাবে (water-tight) বন্ধ করিতে পারে। আংটার সহিত একগাছা সুতা আটকাও যাহাতে সুতাটি টানিয়া B চাক্তিটি A-চোঙের মুখে লাগানো যায়। এইভাবে A-চোঙটির মুখ বন্ধ করিয়া চোঙটি জলের ভিতর খানিকটা ডুবাইয়া সুতাটি ছাড়িয়া দাও (2ঘ নং চিত্র)। দেখিবে B-চাকতিটি পড়িয়া যাইবে না। কেন পড়িবে না? কারণ চাক্তিটির নীচের জল চাক্তির উপর ঊর্ধ্বচাপ প্রয়োগ করিতেছে। ইহার দ্বারা প্রমাণ হয় জলের ঊর্ধ্বচাপ আছে।

এখন আস্তে আস্তে A চোঙ্টির ভিতর জল ঢাল। জল একটু রঙিন করিয়া লইলে ভাল হয়। দেখিবে যে চোঙের ভিতরকার জলের তল (level) এবং বাহিরের জলের তল যতক্ষণ সমান না হইবে B-চাক্তি ততক্ষণ পড়িবে না। যেই দুই তল সমান হইবে (চোঙের ভিতরকার জল রঙিন বলিয়া বুঝিতে সুবিধা হইবে) তখনই চাক্তি পড়িয়া যাইবে। ইহার দ্বারা বোঝা যাইতেছে B-চাক্তির উপর জলের ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমান হইল এবং চাক্তিটি নিজের ভারে পড়িয়া গেল। অর্থাৎ, কোন বিন্দুতে তরলের ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমান।

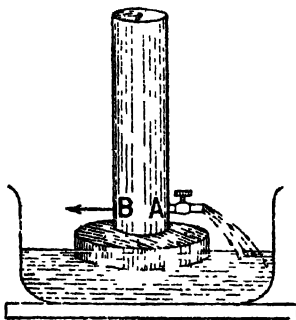
(গ) স্থির তরল পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে (Liquid at rest, exerts sideway or lateral pressure):

তরলের পার্শ্বচাপের দৈনন্দিন উদাহরণ খুব বিরল নয়। যখন হোস্‌পাইপ দ্বারা রাস্তায় জল দেওয়া হয় তখন পাইপের গায়ে ছিদ্র থাকিলে দেখা যায় যে সেই ছিদ্র দিয়া সূক্ষ্ম জলধারা জোরে বাহির হইয়া আসিতেছে। ইহার কারণ জল পাইপের গায়ে পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে।

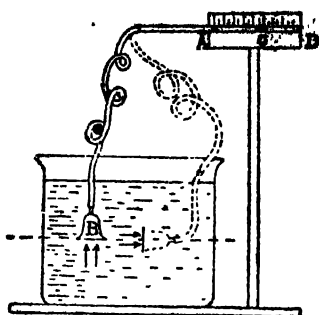
নৌকার গায়ে ফুটা থাকিলে ঐ ফুটা দিয়া জল নৌকায় প্রবেশ করে ইহা তোমরা অনেকে দেখিয়াছ। ইহারও কারণ পার্শ্বচাপ।

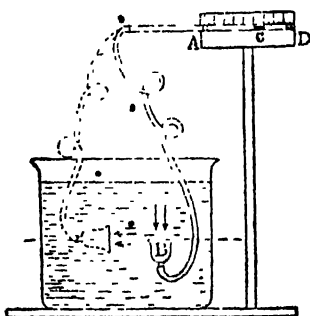
নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা পরীক্ষাগারে তরলের পার্শ্বচাপ দেখানো যাইতে পারে।

পরীক্ষা: একটি খুব পাতলা ধাতব চোঙ্‌ লইয়া উহার নিম্ন প্রান্তের কাছাকাছি গায়ে একটি ছিদ্র কর এবং ছিদ্রটি প্যাচকল দিয়া খোলা বা বন্ধ করিবার ব্যবস্থা কর। চোঙটি নিশ্ছিদ্রভাবে (water tight) একটি পাতলা কর্কের উপর বসাও এবং সমগ্র জিনিসটি জলের উপর ভাসাইয়া রাখ। এখন আস্তে আস্তে চোঙ্‌ জলপূর্ণ কর। দেখিবে চোঙটি এক জায়গায় স্থির হইয়া ভাসিবে। অতঃপর খুব সাবধানে প্যাচকল খুলিয়া দাও। দেখিবে কলের মুখ দিয়া জল বাহির হইয়া আসিতেছে কিন্তু সমগ্র জিনিসটি জলপ্রবাহের বিপরীত দিকে (তীরচিহ্নের দিকে) আস্তে আস্তে সরিয়া যাইতেছে (26 নং চিত্র)। উহার কারণ জলের পার্শ্বচাপ।

তরল পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে
চিত্র 26

যখন প্যাচকল বন্ধ ছিল তখন জল চোঙের গায়ে সর্বত্র সমান ভাবে পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করিতেছিল এবং যে-কোন তলে (level) এই পার্শ্বচাপ সমান ও বিপরীত বলিয়া চোঙটি স্থির ছিল। কিন্তু যেই প্যাচকল খুলিয়া দেওয়া হইল অমনি খোলা মুখ দিয়া জল বাহির হইতে লাগিল। ফলে A বিন্দুতে জলের পার্শ্বচাপ রহিল না কিন্তু বিপরীত বিন্দু B-তে চাপ ঠিকই রহিল। সুতরাং AB তলে অসম (unbalanced) চাপ ক্রিয়া করার ফলে সমগ্র জিনিসটি AB অভিমুখে আস্তে আস্তে সরিয়া যাইবে।

(ঘ) স্থির তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে তরল চতুর্দিকে সমান চাপ প্রয়োগ করে (Liquid, at rest, exerts pressures at a point within it in all directions with equal magnitude) :

B-একটি কাচের ফানেল। উহার মুখ পাতলা রবার দ্বারা আটকানো। ফানেলটি সরু ছিদ্রবিশিষ্ট কাচের নল A-র সহিত রবার টিউব দিয়া সংযুক্ত। কাচের নলটি অনুভূমিক অবস্থায় একটি ফ্রেমে (D) আটকানো এবং ফ্রেমটির সঙ্গে একটি স্কেল লাগানো আছে। A নলটির ভিতর এক ফোঁটা রঙিন জল (ছবিতে c) রাখা আছে। উহা সূচকের (index) কাজ করিবে (2চ নং চিত্র)।

তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে চতুর্দিকের চাপ সমান
চিত্র 2চ

একটি গভীর পাত্র জলপূর্ণ কর। ফানেলটির মুখ নিম্নাভিমুখী করিয়া জলের ভিতরে প্রবেশ করাও। দেখিবে সূচকটি ডানদিকে সরিয়া গিয়াছে। ফানেলটির মুখে জলের ঊর্ধ্বচাপ পড়ায় ফানেল ও রবার টিউবের ভিতরস্থ বায়ু সংকুচিত হইয়া রঙীন জলের ফোঁটাকে চাপ দিয়া সরাইয়া দেয়। ইহা দ্বারা জলের ঊর্ধ্বচাপ দেখান হইল।

এক অনুভূমিক তলের সকল বিন্দুতে চাপ সমান
চিত্র 2ছ

এখন ফানেলটির মুখ একই গভীরতায় রাখিয়া উপরে, নীচে, পার্শ্বে, চতুর্দিকে ঘুরাও (2চ ও 2ছ নং চিত্র)। দেখিবে সূচকটি একই জায়গায় স্থির হইয়া আছে। ইহার দ্বারা প্রমাণ হয় যে, তরলের অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে তরল চতুর্দিকে সমানভাবে চাপ প্রয়োগ করে।

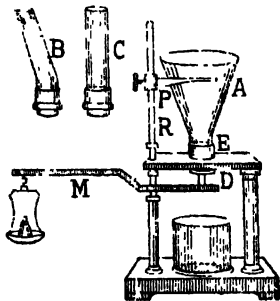
ইহা ছাড়া যদি ফানেলের মুখ একই গভীরতায় রাখিয়া ডান দিকে বা বাম দিকে সরানো যায় তবে দেখা যাইবে যে সূচকের কোন স্থান পরিবর্তন হইতেছে

না। ইহা প্রমাণ করে যে, যে-কোন অনুভূমিক তলে (horizontal level) সর্বত্র তরলের চাপ সমান।

(ঙ) কোন তরলপূর্ণ পাত্রের তলদেশে ঘাত তরলের উচ্চতা ও তলদেশের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে।

(Thrust exerted by a liquid on the base of a vessel depends upon the area of the base and the height of the liquid) :

কোন পাত্র জলপূর্ণ করিলে পাত্রের তলদেশে যে-ঘাত পড়ে তাহা মোট জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, তলদেশের ক্ষেত্রফল ও জলের উচ্চতার উপব নির্ভর করে। প্রথমত এই ব্যাপাব অবিশ্বাস্য বলিয়া মনে হয়, কারণ স্বভাবতই আমরা ধবিয়া লই যে, মোট জলের পরিমাণের উপব ঘাত নির্ভর করা উচিত। এইজন্য এই ব্যাপারটিকে **উদস্থৈতিক কূট** (Hydrostatic Paradox) বলে।

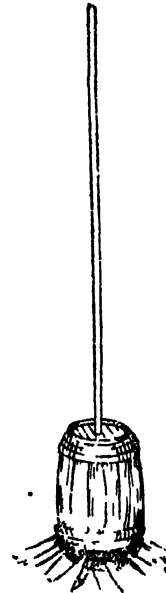
পরীক্ষা ঃ A, B, C কতকগুলি দুমুখ-খোলা ভিন্ন আকাব ও আয়তনের পাত্র, কিন্তু ইহাদেব ভূমিব (base) প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) সমান। ইহাদেব বলা হয় পাস্কালের পাত্র। ইহাদের প্রত্যেককেই একটি পাটাতনের উপর আটকানো প্যাচ E-এব সহিত লাগানো যায়। প্যাঁচ E-এব মুখের ক্ষেত্রফল পাত্রগুলিব ভূমির প্রস্থচ্ছেদের সমান। D একটি ধাতব চাকৃতি। ইহা প্যাঁচ E-এর মুখ বন্ধ কবিতে পাবে। একটি দণ্ডের (M) একপ্রান্তে এই চাকৃতিটি আটকানো এবং অন্য প্রান্তে একটি তুলাপাত্র ঝুলানো আছে। P একটি সূচক যাহা R-দণ্ডটি বাহিয়া উঠানো বা নামানো যায় (2জ নং চিত্র)।

উদস্থৈতিক কূট পরীক্ষা
চিত্র 2জ

এখন A পাত্রটিকে E প্যাচে আটকাইয়া দাও। তুলাপাত্রে কিছু ওজন রাখ যাহাতে D চাকৃতিটি প্যাঁচের মুখ আটকাইয়া থাকে। A পাত্রটিতে আস্তে আস্তে জল ঢাল। D চাকৃতিব উপর ক্রমশ জলের ঘাত বাড়িবে এবং যখন ঘাত তুলাপাত্রে রক্ষিত ওজনের সামান্য বেশী হইবে তখন চাকৃতিটি নিজের ভারে আলগা হইয়া যাইবে এবং ফাঁক দিয়া জল পড়িয়া যাইবে। সূচক P-দ্বারা A পাত্রে জলের উচ্চতা নির্ণয় করিয়া রাখ। A-পাত্রটি সরাইয়া

একে একে B এবং C পাত্র প্যাঁচে লাগাও। দেখিবে B এবং C পাত্রে জলের উচ্চতা যখন সূচক-নির্দিষ্ট আগেকার উচ্চতার সমান হইল ঠিক তখনই আবার জল বাহির হইয়া পড়িল। অর্থাৎ D-চাকৃতির উপর ঘাত চাকৃতির ক্ষেত্রফল ও উচ্চতার উপর নির্ভর করিতেছে—মোট জলের উপর নয়। কারণ, A, B এবং C পাত্রে মোট জলের পরিমাণ ভিন্ন।

পাস্কাল আর একটি মজার পরীক্ষা দ্বারা উপরোক্ত তথ্য প্রমাণ করিয়াছেন।

একটি কাঠের পিপা জলপূর্ণ করা হইল। জলের চাপে পিপাটি অক্ষতই রহিল। পরে একটি 30 ফুট লম্বা সরু নল পিপার মুখে লাগাইয়া তাহাতে জল ভর্তি করা হইল (2য় নং চিত্র)। ফলে পিপাটি ফাটিয়া গেল। যদিও খুব কম জলই ঢালা হইল কারণ নলটি বেশ সরু তবুও পিপাটির তলদেশে যে ঘাত পড়িল তাহা এমন একটি জলস্তম্ভের ঘাতের সমান যে স্তম্ভের ভূমি (base) হইতেছে পিপার ভূমির সমান এবং উচ্চতা নল পর্যন্ত উচ্চতার সমান। কাজেই ঘাত মোট জলের উপর নির্ভর করে না—নির্ভর করে উচ্চতা ও ভূমির ক্ষেত্রফলের উপর।

পাস্কালের পরীক্ষা
চিত্র 2য়া

উদাহরণঃ

(1) একটি বাঁধ 1500 ft. লম্বা এবং উহা 100 ft. গভীর জলকে আটকাইয়া রাখিয়াছে। বাঁধটির উপর মোট কত পার্শ্বঘাত পড়িতেছে?

[A dam is 1500 ft long and water is 100 ft deep. What is the total lateral thrust on the dam?]

উ। এস্থলে বাঁধটির সর্বত্র পার্শ্বচাপ সমান হইবে না, কারণ সর্বত্র জলের গভীরতা সমান নয়। এক্ষেত্রে বাঁধটির সর্বনিম্ন বিন্দুতে কত পার্শ্বচাপ পড়িতেছে এবং সর্বোচ্চ বিন্দুতে কত পার্শ্বচাপ পড়িতেছে তাহা নির্ণয় করিয়া উহাদের গড় বাহির করিলে গড় পার্শ্বচাপ পাওয়া যাইবে। অতঃপর জল সংলগ্ন

বাঁধের ক্ষেত্রফলকে ঐ গড় পার্শ্বচাপ দিয়া গুণ করিলে মোট পার্শ্বঘাত পাওয়া যাইবে।

এখন সর্বনিম্ন বিন্দুতে জলের গভীরতা $= 100$ ft. সুতরাং তথায় পার্শ্বচাপ $= 100 \times 62{\cdot}5$ lbs/sq. ft.

সর্বোচ্চ বিন্দুতে জলের গভীরতা শূন্য। সুতরাং তথায় পার্শ্বচাপ শূন্য।

অতএব, গড় পার্শ্বচাপ $= \dfrac{100 \times 62{\cdot}5 + 0}{2}$

$$= 50 \times 62{\cdot}5 \text{ lbs/sq. ft.}$$

কাজেই, মোট ঘাত = ক্ষেত্রফল × গড় পার্শ্বচাপ

$$= (1500 \times 100) \times 50 \times 62{\cdot}5 \text{ lbs.}$$

$$= 46875 \times 10^4 \text{ lbs.}$$

(2) একটি ঘনকের প্রত্যেক পার্শ্বের দৈর্ঘ্য 40 cm ; 1·2 gms/c. c. ঘনত্ব সম্পন্ন একটি তরলে উহাকে এমনভাবে ডুবানো হইল যে উহার উপরতল 30 cm. গভীরতায় আছে। ঘনকের প্রত্যেক তলে মোট কত করিয়া ঘাত পড়িবে নির্ণয় কর।

[A cube of side 40 cm is immersed in a liquid of density 1·2 gms./c c. so that the upper face is at a depth of 30 cm. from the liquid surface. Calculate the total thrust on every surface of the cube.]

উ। ঘনকের উপরতল 30 cm. গভীরতায় আছে। কাজেই উপরতলের প্রতি বিন্দুতে চাপ $= 30 \times 1{\cdot}2$ gm. wt.

∴ ঘনকের উপরতলে মোট ঘাত = চাপ × ক্ষেত্রফল

$$= 30 \times 1{\cdot}2 \times 40 \times 40 = 57600 \text{ gm.-wt.}$$

ঘনকের নীচের তল $(30+40) = 70$ cm গভীরতায় আছে। কাজেই নীচের তলের প্রতি বিন্দুতে চাপ $= 70 \times 1{\cdot}2$ gm wt.

∴ ঘনকের নীচের তলে মোট ঘাত $= 70 \times 1{\cdot}2 \times 40 \times 40$

$$= 134400 \text{ gm.-wt.}$$

ঘনকের খাড়াতলে জলের পার্শ্বচাপ পড়িতেছে। খাড়াতলের প্রত্যেক বিন্দুর গভীরতা সমান নয়। এক্ষেত্রে গড় পার্শ্বচাপ বাহির করিয়া লইতে হইবে।

এখন খাড়াতলের সর্বোচ্চ বিন্দুতে পার্শ্বচাপ $= 30 \times 1 \cdot 2$ gm.-wt.

এবং „ „ সর্বনিম্ন „ „ $= 70 \times 1 \cdot 2$ „ „

কাজেই গড় পার্শ্বচাপ $= \frac{(30 \times 1 \cdot 2) + (70 \times 1 \cdot 2)}{2} = 50 \times 1 \cdot 2$ gm.-wt.

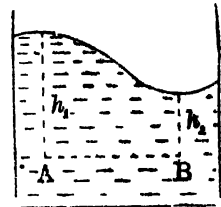
∴ খাড়াতলে মোট ঘাত = গড় পার্শ্বচাপ × খাড়াতলের ক্ষেত্রফল

$= 50 \times 1 \cdot 2 \times 40 \times 40 = 96000$ gm.-wt.

2-6. স্থির তরলের উপরিস্থ তল সর্বদা অনুভূমিক (Free surface of a liquid, at rest, is always horizontal) **:**

যখন কোন পাত্রে রক্ষিত তরল স্থির থাকে তখন তরলের উপরিস্থ তল সর্বদা অনুভূমিক হয়।

চিত্র 2 ঞ

ধরা যাউক, উপরিস্থ তল অনুভূমিক নয়—বক্র (2ঞ নং চিত্র)। তরলের অভ্যন্তরে এক অনুভূমিক তলে A এবং B দুইটি বিন্দু লও। মনে কর A-বিন্দুর গভীরতা h_1 এবং B-বিন্দুর গভীরতা h_2।

A বিন্দুর চাপ $= h_1 \, d \, g$ [d – তরলের ঘনত্ব]

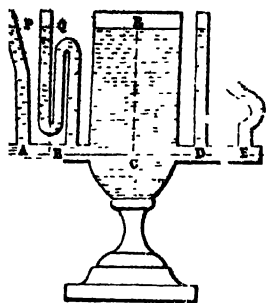
B বিন্দুর চাপ $= h_2 d.g$

যেহেতু h_2-র চাইতে h_1 বড়, কাজেই A বিন্দুর চাপ B বিন্দুর চাপের চাইতে বেশী। অতএব তরল স্থির থাকিতে পারে না, A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে যাইবে। স্থির থাকিতে গেলে A এবং B বিন্দুর চাপ সমান হইতে হইবে, অর্থাৎ $h_1 = h_2$ হইতে হইবে। সুতরাং তরল স্থির থাকিলে উপরিস্থ তল অনুভূমিক হইতে হইবে।

2-7. পরস্পর সংযুক্ত পাত্রে তরল একই তলে থাকিতে চায় (In a communicating vessel liquid finds its own level) **:**

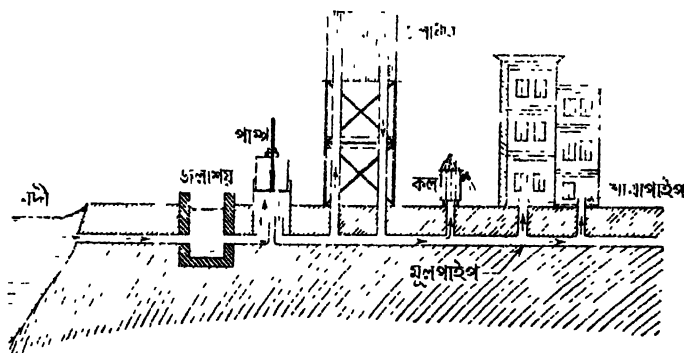
P, Q, R, S, T প্রভৃতি বিভিন্ন আকার ও আয়তনের কতগুলি পরস্পর-সংযুক্ত পাত্র। যে-কোন একটি পাত্র, ধর, P-তে জল ঢালিলে জল অন্য পাত্রেও প্রবেশ করিবে এবং স্থির অবস্থায় দেখা যাইবে যে প্রত্যেক পাত্রের জলের উপরিস্থ তল একই অনুভূমিক তলে আছে (পর পৃষ্ঠায় 2ট নং চিত্র)। ইহার কারণ নিম্নে বলা হইল।

একই অনুভূমিক রেখায় প্রত্যেক পাত্রের তলদেশে A, B, C, D, E প্রভৃতি বিন্দু লও।

যেহেতু তরল স্থির, কাজেই A, B প্রভৃতি বিন্দুতে চাপ সমান। A, B, C, প্রভৃতি একই অনুভূমিক রেখায় স্থাপিত হওয়ায় উপরিস্থ তল হইতে তাহাদের গভীরতা সবই সমান হইবে। নতুবা চাপ সমান হইতে পারে না। অর্থাৎ, প্রত্যেক পাত্রের উপরিস্থ তল একই অনুভূমিক সমতলে থাকিবে। তরল একই তলে থাকিতে চায় (liquid finds its own level)—ইহা তরলের একটি বিশেষ ধর্ম।

পরস্পর সংযুক্ত পাত্রে তরল একই তলে থাকে

চিত্র 2ট

তরল একই তলে থাকিতে চায়—এই ধর্মের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application of the property that liquid finds its own level) :

(a) **শহরে জল সরবরাহ**—তরলের উপরোক্ত ধর্মের ফলে শহরে জল সরবরাহ ব্যবস্থা সম্ভবপর হইয়াছে। বড় বড় শহরে পৌর-প্রতিষ্ঠান কর্তৃক বাড়ি বাড়ি পানীয় জল সরবরাহ করা হয়। নিকটবর্তী কোন নদী, হ্রদ বা,

শহরে জল সরবরাহ ব্যবস্থা

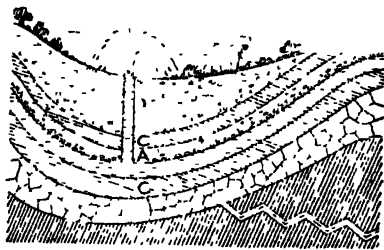
চিত্র 2ঠ

জলাশয় হইতে পাম্প দ্বারা জল একটি উঁচু জলাধারে জমা করা হয়। এই জলাধারটি শহরের যে সর্বোচ্চস্থানে জল সরবরাহ করিতে হইবে তদপেক্ষা আরো উঁচু স্থানে রাখা হয় (চিত্র নং 2ঠ)। সেই আধারের সহিত

পাইপ সংযোগ করিয়া পাইপ শহরের বিভিন্ন অংশে লইয়া যাওয়া হয় এবং এই মূল পাইপ হইতে শাখা-পাইপ বিভিন্ন বাড়িতে দেওয়া হয়। যে-চাপে বাড়িতে জল সরবরাহ হয় তাহা আধারের উচ্চতার (head of water) উপর নির্ভর করে। যখন আধার হইতে জল পাইপে ছাড়া হয় তখন ঐ চাপের জন্য জলের চেষ্টা হইবে পাইপ বাহিয়া আধারের যে তল সেই পর্যন্ত উঠিবার। সুতরাং সহজেই শহরের বাড়িতে জল সরবরাহ হইবে। জল পাইপ বাহিয়া যত উপরে উঠিবে এবং আধারের তল পর্যন্ত পৌছাইবার চেষ্টা করিবে তত জলের চাপ কমিয়া যাইবে। এই কারণে দোতলা বা তিনতলার কলে জলের যে চাপ দেখা যায় একতলার কলে তদপেক্ষা অনেক বেশী চাপ থাকে।

কলিকাতার শহরের উপকণ্ঠে টালাতে 300 ফুট উঁচু একটি জলাধার আছে। সেখান হইতে পানীয় জল শহরের বিভিন্ন অংশে সরবরাহ করা হয়।

(b) **আর্টেসীয় কূপ** (Artesian well) :

পৃথিবীর অভ্যন্তরে নানারকমের স্তর দেখিতে পাওয়া যায়। ইহাদের কতগুলি পাথর, শ্লেট, মাটি ইত্যাদি দ্বারা গঠিত এবং ইহাদের ভিতর জল প্রবেশ করিতে পারে না। আবার কতগুলি স্তর আছে যেগুলি কোমল এবং ইহাদের ভিতর জল সহজে চোয়াইয়া প্রবেশ করিতে পারে। বৃষ্টির জল অথবা ভূ-পৃষ্ঠের জলাশয়, হ্রদ ইত্যাদি হইতে জল চোঁয়াইয়া এই সমস্ত কোমল স্তরে সঞ্চিত হয়। কখন কখন এমন হয় যে দুইটি

আর্টেসীয় কূপ
চিত্র 2ড

কঠিন স্তরের মধ্যে (2ড নং চিত্রে C এবং C) একটি কোমল স্তর (A) অবস্থিত থাকে এবং ইহাদের আকার অনেকটা U অক্ষরের ন্যায় বাঁকানো। ফলে এই কোমল স্তরে জল আটকা পড়িয়া যায়। এখন ভূ-পৃষ্ঠ হইতে গর্ত খুঁড়িয়া একটি নল ঐ কোমল স্তর পর্যন্ত ঢুকাইতে পারিলে নল বাহিয়া জল ভূ-পৃষ্ঠ পর্যন্ত আসিবে—কারণ জলের ধর্মই হইল এক লেভেলে আসা। সুতরাং নলের মুখ হইতে জোরে জল বাহির হইয়া আসিবে। ফ্রান্সের আঁতোয়া (Artois) অঞ্চলে সর্বপ্রথম এই ধরনের কূপ খনন করা হইয়াছিল এবং এই

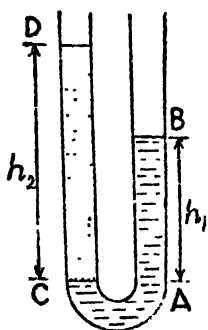
কারণে ইহাকে আর্টেসীয় কূপ বলা হয়। সাহায্যে ... কূপ খনন করিয়া জল-সেচের ব্যবস্থা করা হইয়াছে।

4. U-আকৃতি নলে দুইটি তরল পদার্থের সাম্য (Balancing columns in a U-tube) :

দুইটি তরল পদার্থ—যাহারা পরস্পর মিশে না এবং যাহাদের ঘনত্ব (density) আলাদা—একটি U-আকৃতি নলে ঢালিলে দেখা যাইবে যে উহাদের উপরতল অনুভূমিক বটে, কিন্তু একই উচ্চতায় নাই এবং ইহা প্রমাণ করা যায় যে উভয় তরলের স্পর্শতল হইতে উক্ত তরল স্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতা তরলদ্বয়ের ঘনত্বের ব্যস্ত-অনুপাতিক।

2চ নং চিত্রে একটি কাচের U-নল দেখানো হইয়াছে। ধরা যাউক, নলের যে কোন মুখ দিয়া প্রথমে পারদ ঢালা হইল। দেখা যাইবে যে পারদ উভয় বাহুতেই এক উচ্চতায় আছে। এই পারদের উপর জল ঢাল। জলের চাপে ঐ বাহুতে পারদের তল নামিয়া যাইবে এবং অপর বাহুতে পারদের তল উচ্চে উঠিবে। যখন সাম্য প্রতিষ্ঠিত হইবে তখন দেখা যাইবে যে এক বাহুতে জলের উপর-তলের এবং অন্য বাহুতে পারদের উপর-তলের উচ্চতা বিভিন্ন। ধরা যাউক, CD হইল জলস্তম্ভের উচ্চতা এবং B হইল পারদের উপর-তল। CA রেখা উভয় তরলের সংযোগস্থল।

U-নলে দুই তরলের সাম্য

চিত্র 2চ

এস্থলে যেহেতু তরলদ্বয় স্থির এবং CA একটি অনুভূমিক রেখা অতএব C বিন্দুতে জলের চাপ = A বিন্দুতে পারদের চাপ।

এখন, C বিন্দুতে জলের চাপ $= h_2 d_2 g$ [$h_2 =$ CD, $d_2 =$ জলের ঘনত্ব]

এবং A ,, পারদের ,, $= h_1 d_1 g$

[$h_1 =$ AB ; $d_1 =$ পারদের ঘনত্ব]

$$\therefore \; h_1 d_1 g = h_2 d_2 g$$

অথবা, $$\frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

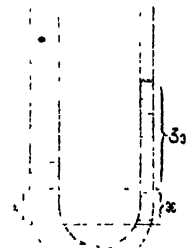
উপরোক্ত সমীকরণে নলের প্রস্থচ্ছেদের কোন উল্লেখ নাই। ইহার অর্থ এই যে উপরোক্ত ফল (result) নলের প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে না—

নল মোটাই হউক, সরু হউক তাহাতে কিছু তারতম্য হয় না। তবে নল খুব সরু অর্থাৎ কৈশিক (capillary) নল হইতে কৈশিক আকর্ষণ ক্রিয়া করিবে এবং উপরোক্ত হিসাবে (calculation) ত্রুটি থাকিবে।

উদাহরণ :

একটি U-নলের এক বাহুর প্রস্থচ্ছেদ 3 sq. cm. এবং অপর বাহুর প্রস্থচ্ছেদ 1 sq. cm. ; নলটিকে খাড়া ভাবে রাখিয়া উহাতে কিছু পারদ ঢালা হইল। অতঃপর মোটা বাহু দিয়া পারদের উপর 60 c.c. জল ঢালা হইল। ইহার ফলে মোটা বাহুতে পারদস্তম্ভ কতখানি নামিয়া যাইবে নির্ণয় কর। পারদের ঘনত্ব = 13·6 gms/c.c.

[The cross-section of one arm of a U-tube is 3 sq. cm. and that of the other is 1 sq. cm. Keeping the tube vertical some mercury is poured into the tube and thereafter 60 c. c. of water is poured over mercury through the wider arm. Find by how much the mercury column will go down in the wider tube. Density of mercury = 13·6 gms/c.c.]

উ। প্রথমে পারদ U-নলে উভয় বাহুতেই সমান উচ্চতায় থাকিবে। 2চ (i) নং চিত্রে কাটা রেখা দ্বারা ঐ উচ্চতা দেখানো হইয়াছে। পরে মোটা বাহু দিয়া জল ঢালা হইলে মনে কর, পারদ মোটা বাহুতে x cm. নামিয়া গেল ; যেহেতু মোটা বাহুর প্রস্থচ্ছেদ সরু বাহু অপেক্ষা তিনগুণ কাজেই সরু বাহুতে পারদ $3x$ cm. উঠিবে। এখন, জল ও পারদের স্পর্শতল হইতে অনুভূমিক রেখা টানিলে (ছবিতে টানা লাইন দিয়া দেখানো হইয়াছে) সরু বাহুতে ঐ রেখা হইতে পারদের উচ্চতা = $4x$ cm.

চিত্র 4চ (i)

মোটা নলে পারদের উপর যে জলস্তম্ভ দাঁড়াইবে তাহার উচ্চতা = $\frac{60}{3}$ = 20 cm.

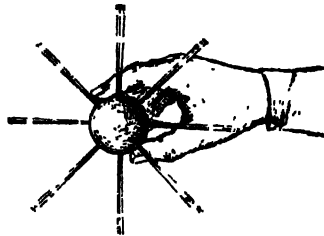
এইবার U-নলে তরল পদার্থের সাম্য হইতে আমরা লিখিতে পারি,

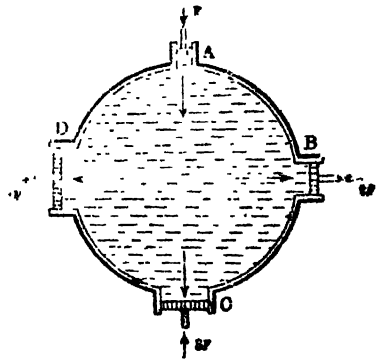
$$\frac{20}{4x} = \frac{13·6}{1} \quad [\text{ জলের ঘনত্ব} = 1 \text{ gm/c.c.}]$$

$$x = \frac{20}{4 \times 13·6} = 0·36 \text{ cm. (প্রায়)}$$

2-9. তরলের চাপ সঞ্চালন সম্পর্কিত পাস্কালের সূত্র (Pascal's law for the transmission of liquid pressure) :

কোন আবদ্ধ (confined) তরলের যে কোন অংশে চাপ প্রয়োগ করিলে তরল সেই চাপ অপরিবর্তিত মাত্রায় (undiminished magnitude) সর্বদিকে সঞ্চালিত করে এবং এই সঞ্চালিত চাপ তরল-সংলগ্ন পাত্রের উপর লম্বভাবে (normally) ক্রিয়া করে। ইহাই পাস্কালের সূত্র।

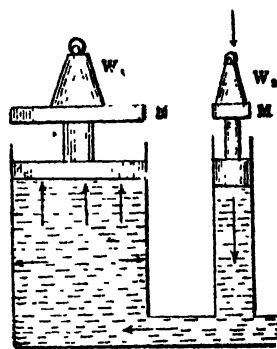
পরীক্ষা : (ক) একটি রবারের বলে ফুটা করিয়া বলটি জলপূর্ণ কর। এখন, বলের গায়ে পিন দিয়া কয়েকটি সূক্ষ্ম ছিদ্র কর। এইবার আঙ্গুল দিয়া বলকে চাপ দিলে ছিদ্রপথে জল সমভাবে বাহির হইতে দেখা যাইবে (2ণ নং চিত্র)। ইহা প্রমাণ করে যে আঙ্গুল কর্তৃক প্রযুক্ত চাপকে জল সর্বদিকে সমভাবে সঞ্চালিত করিয়াছে।

বলটিকে চাপ দিলে ছিদ্রপথে জল সমভাবে বাহির হইবে
চিত্র 2ণ

(খ) একটি জলপূর্ণ আবদ্ধপাত্রে A, B, C, D চারিটি ছিদ্র আছে। ছিদ্রগুলি জলরোধক (water-tight) পিস্টন দিয়া বন্ধ করা। এখন যদি A পিস্টনে চাপ দেওয়া যায় তবে দেখা যাইবে B, C এবং D পিস্টনগুলি বাহিরের দিকে সরিয়া গেল। ইহা প্রমাণ করে যে, A-পিস্টনে প্রযুক্ত চাপকে জল সর্বদিকে সঞ্চালিত করিল (2ত নং চিত্র)।

পাস্কালের সূত্র পরীক্ষা
চিত্র 2ত

এখন মনে কর, A-পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 1 একক (unit area) এবং B, C, এবং D পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে 2, 3, এবং 4 একক। যদি A-পিস্টনে F বল প্রয়োগ করা হয় তবে, B, C এবং Dকে স্থির রাখিতে হইলে বাহির হইতে বিপরীত দিকে উহাদের উপর 2F, 3F এবং 4F বলপ্রয়োগ করিতে হইবে (ছবি দেখ)। ইহা প্রমাণ করে যে এই পিস্টনগুলির প্রতি

এক্ষেত্রে যে বল সঞ্চালিত হইয়াছে তাহা A-পিস্টনে প্রযুক্ত বলের সমান। অর্থাৎ, জল অপরিবর্তিত মাত্রায় চাপ সঞ্চালিত করিল। তাছাড়া, পিস্টনগুলি সরিয়া আসিবার অভিমুখ (direction) লক্ষ্য করিলে বোঝা যাইবে যে সঞ্চালিত চাপ পিস্টনগুলির উপর লম্বভাবে (normally) ক্রিয়া করে।

2-10. পাস্কালের সূত্র হইতে ঘাত বৃদ্ধির নীতি (Principle of multiplication of thrust from Pascal's law) :

2থ নং চিত্রে একটি মোটা এবং একটি সরু চোঙ একটি নল দ্বারা সংযুক্ত দেখানো হইয়াছে। উভয় চোঙেই একটি করিয়া পিস্টন আছে এবং পিস্টনের মাথায় ওজন রাখিবার পাটাতন আছে। এই পরস্পর সংযুক্ত পাত্র জলপূর্ণ করিয়া M পাটাতনের উপর একটি W_2 ওজন রাখা হইয়াছে। যদি M পাটাতনের ক্ষেত্রফল A_2 হয় তবে পাটাতনের উপর প্রযুক্ত নিম্নচাপ $= W_2/A_2$, এই চাপ ঐ পিস্টন সংলগ্ন জলে পড়িতেছে। পাস্কালের সূত্রানুযায়ী জল ঐ চাপকে অপরিবর্তিত মাত্রায় চতুর্দিকে সঞ্চালিত করিবে। সুতরাং N-পিস্টনটির পাটাতনের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে সঞ্চালিত বল $= W_2/A_2$; যদি N-পাটাতনের ক্ষেত্রফল A_1 হয় তবে উহার উপর ঘাত

$$= \text{চাপ} \times \text{ক্ষেত্রফল} = \frac{W_2}{A_2} \times A_1 = W_2 \times \frac{A_1}{A_2}$$

ঘাত বৃদ্ধির নীতি
চিত্র 2থ

সুতরাং ইহার ফলে N-পিস্টনটি উপরের দিকে উঠিতে থাকিবে। ধর, N-পিস্টনটিকে স্থির রাখিবার জন্য উহার উপর W_1 ওজন চাপাইতে হইল, তাহা হইলে $W_1 = W_2 \times \frac{A_1}{A_2}$

যদি A_1, A_2-র চাইতে 100 গুণ হয় তবে M পাটাতনে 1 মণ ওজন রাখিলে N-পাটাতনের উপর 100 মণ ওজন রাখা চলিবে। কাজেই দেখা যাইতেছে যে, ঘাত 100 গুণ বাড়িয়া গেল। এইভাবে বদ্ধ-তরলের একস্থানে অল্প বল প্রয়োগ করিয়া অন্যস্থানে বহুগুণ বল উৎপন্ন করা যায়। ইহাকেই ঘাত-বৃদ্ধির নীতি বলে।

2-11. হাইড্রলিক প্রেস (Hydraulic Press) :

ঘাত-বৃদ্ধির উপরোক্ত নীতি হাইড্রলিক প্রেস নামক একটি যন্ত্রে প্রয়োগ করা হইয়াছে। ব্রামা নামে একজন বৃটিশ ইঞ্জিনীয়ার ইহার কিছু উন্নতি-বিধান করেন বলিয়া এই যন্ত্রকে অনেক সময় ব্রামা প্রেস বলা হয়। এই যন্ত্রদ্বারা প্রচণ্ড ঘাতের সৃষ্টি করা যায় এবং তাহা দিয়া কাপড়, পাট, তুলা প্রভৃতির গাঁট চাপিয়া ছোট করা, বীজ হইতে তেল নিষ্কাশন করা প্রভৃতি কাজ হইয়া থাকে। মেরামতের জন্য ভারী মোটরগাড়ী উঁচুতে তুলিবার জন্য মোটর গ্যারেজে হাইড্রলিক প্রেস ব্যবহৃত হয়। এই ধরনের ব্যবস্থাকে 'Hydraulic garage lift' বলা হয়।

বিবরণ :

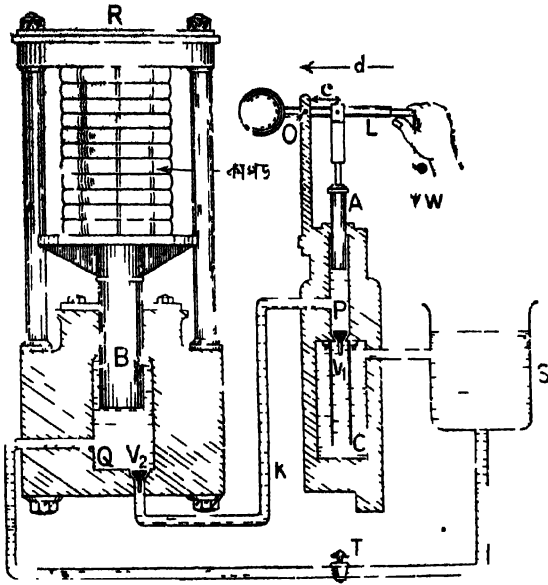
পরপৃষ্ঠায় 2দ নং চিত্রে হাইড্রলিক প্রেসের একটি নক্শা দেখানো হইয়াছে। P এবং Q দুইটি লোহার তৈয়ারী চোঙ্ K-নল দ্বারা সংযুক্ত। P-এর প্রস্থচ্ছেদ ছোট এবং Q-এর প্রস্থচ্ছেদ অনেক বড়। A একটি নিরেট (solid) লোহার পিস্টন। L-হাতল দ্বারা উহাকে P-চোঙের ভিতর যাতায়াত করানো যায়; B আর একটি নিরেট লোহার পিস্টন। ইহার মাথায় একটি পাটাতন আছে। এই পাটাতনের উপর কাগজ, পাট, কাপড় ইত্যাদি চাপিবার জন্য রাখা হয়। R একটি শক্ত লোহার পাত—চারিটি থামের সাহায্যে দৃঢ়ভাবে আটকানো। V_1 এবং V_2 দুইটি ভাল্‌ভ (valve) যাহা দিয়া জলকে শুধু উপরের দিকে চালানো যাইতে পারে। জল নীচু দিকে আসিতে চেষ্টা করিলেই ভাল্‌ভ্ দুইটি শক্তভাবে চোঙের মুখে আটকাইয়া যায়। S একটি জলধার।

কার্যপ্রণালী :

L-হাতল দ্বারা A-পিস্টনকে উপরদিকে উঠাইলে জলের চাপে V_1-ভাল্‌ভটি আল্‌গা হইয়া যায় এবং জলাধার-S হইতে জল আসিয়া P চোঙটি ও K নল ভর্তি করে। এখন A-পিস্টনকে নীচুদিকে চাপ দিলে V_1-ভাল্‌ভ্ বন্ধ হইয়া যায় কিন্তু V_2-ভাল্‌ভ্ জলের চাপে খুলিয়া যায় এবং জল Q-চোঙে প্রবেশ করিয়া B-পিস্টনের উপর চাপ দেয়। পাস্কালের সূত্রানুযায়ী A-পিস্টনের প্রদত্ত চাপ অপরিবর্তিত মাত্রায় B-পিস্টনে সঞ্চালিত হয় এবং B-পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ A-পিস্টনের যতগুণ, বলও ততগুণ বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ B-পিস্টন প্রচণ্ড বলের সহিত উপরে উঠিতে চেষ্টা করে। ফলে B এর পাটাতনের উপর রক্ষিত বস্তু R-লোহার পাত ও পাটাতনের মধ্যে পড়িয়া প্রচণ্ড চাপ খায়। একদফা কাজ

হইয়া সেঁচে Q-চোঙের জলকে সরাইয়া জলাধারে লইয়া যাইবার জন্য

হাইড্রলিক প্রেস

চিত্র 2d

T-প্যাচকলটি খুলিয়া দিতে হয় ফলে Q চোঙের উচ্চ চাপের জল ঐ বিকল্প পথ দিয়া জলাধারে ফিরিয়া যায়।

হাইড্রলিক প্রেসে উৎপন্ন মোট ঘাত (Total thrust developed in a hydraulic press):

ঘাতবৃদ্ধির নীতি ছাড়া লিভারের ব্যবহারের দরুনও হাইড্রলিক প্রেসে ঘাত বৃদ্ধি পায়। মোট কত ঘাত উৎপন্ন হয় তাহা নিম্নলিখিতরূপ নির্ণয় করা যায়।

2d নং চিত্রে L হাতলটি একটি লিভার। হাইড্রলিক প্রেসে এই লিভার দ্বিতীয় শ্রেণীর লিভার হিসাবে ব্যবহৃত হইয়াছে, কারণ এক প্রান্তে আলম্ব O এবং অপর প্রান্তে হাত দ্বারা W বল প্রয়োগ করা হয়। A-পিস্টনটি আলম্ব ও W-এর মধ্যবর্তী কিন্তু আলম্বের কাছাকাছি কোন স্থানে যুক্ত। পিস্টন হইতে আলম্ব পর্যন্ত দূরত্ব c এবং বল (W) প্রয়োগের বিন্দু হইতে আলম্বের দূরত্ব d

হইলে, পিস্টনে যে-বল (F_1) উৎপন্ন হইবে, লিভারের কার্যনীতি হইতে তাহা আমরা লিখিতে পারি,

$$F_1 \times c = W \times d$$

$$Or, \quad F_1 = W \cdot \frac{d}{c}$$

দ্বিতীয় শ্রেণীর লিভারে d-দৈর্ঘ্য c-দৈর্ঘ্য হইতে বেশী হওয়ায় F_1-এর মান W অপেক্ষা বেশী হইবে। সুতরাং এইখানে কিছু ঘাত বৃদ্ধি করা হইল।

এখন, মনে করা যাউক যে A-পিস্টনের ক্ষেত্রফল α এবং B-পিস্টনের ক্ষেত্রফল β ; যদি B-পিস্টনে উৎপন্ন মোট ঘাত F_2 হয়, তবে ঘাতবৃদ্ধির নীতি অনুযায়ী

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{\beta}{\alpha}$$

$$= W \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{\beta}{\alpha}$$

c অপেক্ষা d বড় এবং α অপেক্ষা β বড় হওয়ায় F_2-এর মান W অপেক্ষা অনেক বড় হইবে। অর্থাৎ, লিভারে অল্প বলপ্রয়োগ করিয়া B-পিস্টনে প্রচণ্ড বল সৃষ্টি করা যাইবে।

এই প্রসঙ্গে একটি কথা মনে রাখিতে হইবে। হাইড্রলিক প্রেস দ্বারা অল্প বলপ্রয়োগে বেশী বল উৎপন্ন করা যায় বটে ; কিন্তু শক্তির দিক হইতে আমরা কোন লাভবান হই না। যে-শক্তি আমরা প্রয়োগ করি ঠিক সেই শক্তি আমরা ফিরিয়া পাই ; বরং ঘর্ষণ ইত্যাদির দরুন প্রাপ্ত শক্তি প্রযুক্ত-শক্তি অপেক্ষা কিছু কম হয়।

উদাহরণ ঃ

(1) একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 1 বর্গফুট এবং বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 20 বর্গফুট। যদি ছোট পিস্টনে 200 পাউণ্ড বলপ্রয়োগ করা হয় তবে বড় পিস্টনে কত বল উৎপন্ন হইবে ?

[The sectional area of the smaller piston of a hydraulic press is 1 sq. ft, and that of the larger one is 20 sq. ft. If a force of 200 lbs be applied on the smaller piston, what will be the force developed on the larger one ?]

উ। আমরা জানি, $F_1 = F_2 \times \frac{A_1}{A_2}$

[F_1 = বড় পিস্টনে উৎপন্ন বল
F_2 = ছোট পিস্টনে প্রদত্ত বল
A_2 = ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ
A_1 = বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ]

এখানে $F_2 = 200$ পাউণ্ড, $A_1 = 20$ বর্গফুট ;
$A_2 = 1$ বর্গফুট $F_1 = ?$

$$F_1 = 200 \times \frac{20}{1} = 4000 \text{ পাউণ্ড।}$$

(2) একটি হাইড্রলিক প্রেসের লিভারের দুই বাহুর দৈর্ঘ্য 4 inches এবং 2 feet. ছোট পিস্টনের ব্যাস 2 inches এবং বড় পিস্টনের ব্যাস 20 inches. লিভারের প্রান্তে 25 lbs বল প্রয়োগ করিলে বড় পিস্টনে মোট কত ঘাত উৎপন্ন হইবে ?

[Two arms or the lever of a hydraulic press are 4 inches and 2 feet long. The diameter of the smaller piston is 2 inches and that of the larger one is 20 inches. If a force of 25 lbs be applied at the end of the lever, what will be the force developed on the larger piston ?]

উ। ধরা যাউক, ছোট পিস্টনে F_1 বল উৎপন্ন হইল। লিভারের কার্য-নীতি হইতে আমরা জানি,

$$25 \times 2 = F_1 \times \frac{4}{12} \quad [\, 4 \text{ inches} = \tfrac{4}{12} \text{ ft} \,]$$

$$\therefore \quad F_1 = \frac{25 \times 2 \times 12}{4} = 150 \text{ lbs}$$

এবার মনে করা যাউক বড় পিস্টনে F_2 বল উৎপন্ন হইল। ঘাত বৃদ্ধির নীতি হইতে আমরা জানি,

$$F_2 = F_1 \times \frac{\text{বড় পিস্টনের ক্ষেত্রফল}}{\text{ছোট}\ \ ,,}$$

$$= F_1 \times \frac{\pi(10)^2}{\pi(1)^2} \quad \text{বড় পিস্টনের ব্যাসার্ধ} = 10 \text{ inches}, \quad \text{ছোট}\ ,, = 1 \text{ inch}$$

$$= F_1 \times 100$$

$$= 150 \times 100 = 15{,}000 \text{ lbs.}$$

(3) একটি বোতল তেল দ্বারা ভর্তি করিয়া কর্ক আটকানো হইল ; বোতলের গলা এবং তলার ব্যাস যথাক্রমে $\frac{1}{2}$ inch এবং 3 inches ; কর্কের উপর 5 lbs-wt বলপ্রয়োগ করিলে তলায় কত ঘাত উৎপন্ন হইবে ?

[A bottle is completely filled with oil and corked. If the diameters of the neck and bottom of the bottle be $\frac{1}{2}$ inch and 3 inches respectively, calculate the thrust on the bottom when the cork is pressed with a force of 5 lbs. wt]

[*H. S. Exam. 1961*]

উ। গলার প্রস্থচ্ছেদ $= \pi r^2 = \pi(\frac{1}{4})^2$ sq. inch

তলার প্রস্থচ্ছেদ $= \pi r^2 = \pi(\frac{3}{2})^2$ sq. inch

এখন, গলায় প্রদত্ত চাপ $= \frac{5}{\pi(\frac{1}{4})^2} = \frac{80}{\pi}$ lbs. wt/sq. inch

সুতরাং তলার প্রতি একক ক্ষেত্রফলে উৎপন্ন বল $= \frac{80}{\pi}$ lbs. wt/sq. inch

$\therefore$ তলার মোট ঘাত $= \frac{80}{\pi} \times \pi(\frac{3}{2})^2$ lbs. wt.

$= 180$ lbs. wt.

সারাংশ

তরলের চাপ :

যদি A ক্ষেত্রফলের উপর তরল F বল প্রয়োগ করে তবে

তরলের চাপ, $P = F/A = \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}}$

তরলের ঘাত :—

ঘাত $=$ চাপ $\times$ ক্ষেত্রফল $= P \times A$.

তরলের মধ্যস্থিত বিন্দুতে চাপের পরিমাণ :

যদি বিন্দুর গভীরতা হয় h, তরলের ঘনত্ব হয় d, তবে বিন্দুতে তরলের চাপ, $P = h.\ d.\ g$

স্থির তরলের বৈশিষ্ট্য :

(i) তরল পদার্থের অভ্যন্তরে কোন বিন্দুতে চাপ বিন্দুটির গভীরতার উপর নির্ভর করে।

(ii) কোন বিন্দুতে তরলের ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমান।

(iii) তরল পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে।

(iv) তরলের মধ্যস্থিত কোন বিন্দুতে তরল চতুর্দিকে সমান চাপ প্রয়োগ করে।

(v) তরলের উপরিস্থ তল সর্বদা অনুভূমিক।

কোন তরলপূর্ণ পাত্রের তলদেশে ঘাত তরলের উচ্চতা ও পাত্রের তলদেশের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে।

পরস্পর সংযুক্ত পাত্রে তরল একই তলে থাকিতে চায়।

পাস্কালের সূত্র :

কোন আবদ্ধ তরলের যে-কোন অংশে চাপ প্রয়োগ করিলে তরল সেই চাপ অপরিবর্তিত মাত্রায় সর্বদিকে সঞ্চালিত করে এবং এই সঞ্চালিত চাপ তরল-সংলগ্ন পাত্রের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

ঘাত-বৃদ্ধির নীতি :—পাস্কালের সূত্র অবলম্বন করিয়া তরলের সাহায্যে অল্প বলকে বহুগুণ বৃদ্ধি করা যায়।

হাইড্রলিক প্রেস : এই যন্ত্র ঘাত-বৃদ্ধি নীতির কার্যকর প্রয়োগ। ইহা দ্বারা প্রচণ্ড ঘাত সৃষ্টি করা যায় এবং বিভিন্ন ব্যবহারিক ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা হয়। কাপড়ের কল, পাটের কল, কাগজের ফ্যাক্টরী, মোটর গাড়ীর কারখানা প্রভৃতি প্রতিষ্ঠান এই যন্ত্র ব্যবহার করে।

প্রশ্নাবলী

1. তরলের 'ঘাত' ও 'চাপের' মধ্যে পার্থক্য বুঝাইয়া দাও। কোন বিন্দুতে তরলের চাপের পরিমাণ কত?

[Explain the difference between 'thrust' and 'pressure' in a liquid. What is the pressure at a point in a liquid?] [*H. S. (Comp.) 1960, H. S. Exam '62*]

2. সমুদ্রজলের ঘনত্ব 1·025 lbs/c. ft; যদি 1 ঘনফুট সাধারণ জলের ওজন 62·5 পাউণ্ড হয়, তবে 10 ফুট নীচে সমুদ্রজলের চাপ নির্ণয় কর।

[The density of sea-water is 1·025 lbs/c. ft. If 1 c. ft of fresh water weighs 62·5 lbs, calculate the pressure at a depth of 10 ft. in sea water.]

[Ans. 640·625 lbs/sq. ft.]

3. একটি চ্যাপ্টা তলা যুক্ত নলের প্রস্থচ্ছেদ 4 sq. cm.; উহা জলে 8 cm এবং অ্যালকোহলে 10 cm. ডুবিয়া যায়। নলের মোট ওজন কত এবং অ্যালকোহলের ঘনত্ব কত?

[A flat-bottomed tube, 4 sq. cm. in cross-section sinks to a depth of 8 cm in water and 10 cm. in alcohol. What is the weight of the tube and its contents and what is the density of alcohol? [Ans. 32 gm ; 0·8 gm/c.c.

4. একটি আয়তাকার বাক্সের দৈর্ঘ্য 10 ft., প্রস্থ 8 ft. এবং উচ্চতা 6 ft.। বাক্স সম্পূর্ণ জলপূর্ণ করা হইলে বাক্সের তলায় মোট কত ঘাত পড়িবে?

[The length, breadth and height of a rectangular box are respectively 10 ft., 8 ft., and 6 ft. When the box is full of water, calculate the total thrust on the bottom. [1 c. ft. of water weighs 62·5 lbs.] [Ans. 30,000 lbs]

5. একটি আয়তাকার জলাধার 4 ft. লম্বা, 2 ft. চওড়া এবং 2 ft. উচু। ইহা জলপূর্ণ করা হইলে উহার তলায় এবং পাশে কত ঘাত পড়িবে নির্ণয় কর। জলের ঘনত্ব 62·5 lbs/c. ft.

[A rectangular tank 4 ft long, 2 ft. broad and 2 ft. deep is full of water (density 62·5 lbs /c. ft.) Find the thrust on the bottom, on one broad side and on one end side] [Ans. 1000 lbs. : 500 lbs. ; 250 lbs]

6. একটি খালের লক-গেট 12 ft চওড়া। উহার একপাশে জলের গভীরতা 16 ft এবং অন্য পাশে 10 ft. হইলে গেটের উপর মোট ঘাত নির্ণয় কর। 1 c. ft. জলের ওজন 62·5 lbs.

[The lock-gate of a canal is 12 ft. broad. The depth of water on the side of the gate is 16 ft. and that on the other side is 10 ft, Calculate the total thrust on the gate if 1 c. ft of water weighs 62 5 lbs] [Ans. 585,00 lbs]

7. তরলের মধ্যস্থিত কোন বিন্দুতে চতুর্দিকে যে চাপ আছে তাহা পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও। ঐ চাপ বিন্দুর গভীরতার উপর নির্ভর করে তাহাও পরীক্ষা দ্বারা বুঝাও।

[Explain, by means of experiment, that liquid exerts pressure in all directions at a point within it. Also describe a simple experiment to prove that the pressure depends upon the depth of the point.] [*H. S Exam 1962*]

8. একটি লম্বা পাতলা চোঙের প্রায় তলদেশে একটি প্যাঁচকল আঁটিয়া চোঙটি জলপূর্ণ করা হইল এবং একখণ্ড কর্কের উপর খাড়াভাবে জলে ভাসানো হইল। প্যাঁচকলটি খুলিয়া দিলে কি দেখিবে তাহা ব্যাখ্যা করিয়া বুঝাও।

[A tall thin vessel provided with a tap at the side near the bottom is filled with water and made to float upright on a piece of cork. Explain what happens when the tap is opened]

9. উদস্থৈতিক কূট কি? পরীক্ষাদ্বারা বুঝাইবার চেষ্টা কর।

[What is 'hydrostatic paradox'? Explain it with suitable experiments]

10. 'তরল একই তলে থাকিতে চায়'—ইহার কি পরীক্ষা তোমার জানা আছে? ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ইহার কি প্রয়োগ আছে?

What experiment do you know to illustrate that 'liquid finds its own level'? What is its practical application?]

11. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি প্রদর্শনের জন্য উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর:

(ক) তরল সংস্পর্শযুক্ত তলের উপর তরল লম্বভাবে চাপ প্রদান করে।

(খ) তরল প্রদত্ত চাপ তরলের গভীরতার সঙ্গে বৃদ্ধি পায়।

(গ) তরল প্রদত্ত চাপ সর্বদিকে ক্রিয়া করে।

(ঘ) তরল সর্বদা একই তলে থাকিতে চায়।

[Describe experiments to demonstrate the following :

(a) A liquid exerts normal pressure on any surface with which it is in contact.

(b) The pressure exerted by a liquid increases with depth.

(c) The pressure due to a liquid acts in all directions.

(d) Liquid always finds its own level.]

12. U-tube-এর সাহায্যে দুইটি তরলের ঘনত্ব তুলনা কিরূপে করিবে ? U-tube এর দুই বাহুর প্রস্থচ্ছেদ কি সমান হওয়া প্রয়োজন ? তোমার উত্তরের কারণ বর্ণনা কর।

[How would you compare the densities of two different liquids by means of a U-tube ? Should the limbs of the U-tube have same area of cross-section ? Explain your answer.

13. কোন জল সরবরাহ ব্যবস্থার জলাধার ভূমি হইতে 100 ft. উঁচু ; ঘর্ষণ ইত্যাদির জন্য জলের চাপ হ্রাস যদি 40 ft. হয় তবে ভূমি হইতে 20 ft. উঁচু একটি কলে জলের চাপ কত হইবে ?

[The reservoir of a water-supply system is 100 ft. above the ground. If the loss of pressure head due to friction etc. is 40 ft., what will be the pressure at a tap 20 ft. above the ground ?] [Ans. 40 ft. of water বা 2496 lbs/sq. ft.]

14. কলের লেভেল মাটি হইতে যত কম উঁচু করা যায় তত কল হইতে জোরে জল পড়ে কেন ?

[By lowering the level of a tap you get more and more supply of water. Why ?]

15. একটি U-নলের তলায় কিছু পারদ আছে। নলের এক বাহু দিয়া কেরোসিন তেল এবং অপর বাহু দিয়া গ্লিসারিন ঢালা হইল। দেখা গেল যে কেরোসিন তেলের উচ্চতা যখন 10 cm এবং গ্লিসারিনের উচ্চতা 6.84 cm, হইল তখন উভয় বাহুতেই পারদ এক লেভেলে রহিল। কেরোসিনের ঘনত্ব 0.8 gm/c.c হইলে গ্লিসারিনের কত ?

[There is some mercury at the bottom of a U-tube. Kerosene oil is poured over the mercury through one arm and glycerine through the other. It is found that mercury stands at the same level in the two arms when the heights of kerosene oil and glycerine are respectively 10 cm. and 6.84 cms. Density of kerosene being 0.8 gm/c.c., calculate the density of glycerine.] [Ans. 1.26]

16. সমচ্ছেদ সম্পন্ন একটি U-নলে অর্ধেক জলপূর্ণ আছে। U-নলের যে কোন বাহু দিয়া 0.88 gm/c.c. ঘনত্ব সম্পন্ন কোন তরলের কতখানি তরল ঢালিলে অন্য বাহুতে জলের তল 7 cm. ঊর্ধ্বে উঠিবে। U-নলের খোলা মুখের ব্যাস 1 cm

[A uniform U-tube is half-filled with water. How many c. c. of oil of density 0.88 gm/cc must be poured into one limb to make the surface of water rise 7 cm. in the other limb ? The diameter of the tube is

17. একটি U-নলের দুই বাহু 80 cm. লম্বা এবং 1 sq. cm. প্রস্থচ্ছেদ যুক্ত। ইহাতে এমন পরিমাণ পারদ ঢালা হইল যে দুই বাহুতেই পারদের উচ্চতা হইল 10 cm , অতঃপর এক বাহু দিয়া পারদের উপর 17 c. c জল এবং অপর বাহু দিয়া 17 c. c. প্যারাফিন তেল (ঘনত্ব 0·8 gm/c.c.) ঢালা হইল। এই অবস্থায় দুই বাহুর পারদ লেভেলের উচ্চতার পার্থক্য কত?

[The limbs of a U-tube are 80 cm. high and have a uniform cross-section of 1 sq. cm. Mercury is poured into the U-tube until it reaches a height of 10 cm. in each limb 17 c.c. of water are poured into one limb and 17 c.c. of paraffin (density = 0·8 gm/c c.) are poured into the other limb. What is now the difference in the levels of mercury in the two limbs ?

[Ans. 0 25 cm]

18. 54 ft জলের নীচে একটি লক-গেটে 4 inch বর্গের একটি ছিদ্র হইয়াছে। এই ছিদ্রের মুখ দিয়া জল বাহির হওয়া বন্ধ করিতে হইলে কত বলের দ্বারা একটি চাকতিকে ঐ ছিদ্রের মুখে ধরিতে হইবে?

[A 4 inch square hole has been detected in a lock gate at a depth of 54 ft from water-surface With how much force a disc is to be held at the hole in order to stop the outflow of water ? Density of water 62 5 lbs/c ft]

[Ans [illegible] lb wt]

19. প্যাস্কেলের [illegible] বুঝাইয়া [illegible] চাপ বৃদ্ধির নীতি কিরূপে পাওয়া যায়?

[State Pascal's law and explain it fully. How can you obtain the principle of multiplication of thrust from the law ? [*H S (comp.) 1961, P U 1962*]

20. হাইড্রলিক প্রেস কি? ইহার বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। কি কাজে ইহার প্রয়োগ হয়? ইহাতে মোট কত ঘাত উৎপন্ন হয়?

[What is a hydraulic press ? Describe it and explain its action For what purpose is it used ? What is the total thrust developed in it ?

[cf *H S. Exam 1961*]

21. একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট পিস্টনের ব্যাস 1 inch এবং বড় পিস্টনের ব্যাস 1 foot ছোট পিস্টনে 56 lbs বল প্রয়োগ করিলে বড় পিস্টনে কত বল উৎপন্ন হইবে? (পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ গোলাকার)

[The diameter of the small piston of a hydraulic press is 1 inch and that of the larger one is 1 foot. Calculate the thrust developed on the larger piston when a force of 56 lbs is applied on the smaller one. The cross-sections of the pistons are circular] [*P. U 1962*] (Ans. 8064 lbs)

22. একটি জলপূর্ণ বোতলের তলার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 80 sq. cm উহার গলায় একটি কর্ক লাগানো আছে। কর্কের ক্ষেত্রফল 1 sq cm.। কর্কের উপর যদি 40 gms. wt বল প্রযুক্ত হয় তবে বোতলের তলায় কত ঘাত পড়িবে?

[The sectional area of the bottom of a bottle is 80 sq. cm. The bottle is full of water and is closed by a cork whose area is 1 sq. cm. If a force of

40 gms. wt. be applied on the cork, calculate the force developed on the bottom. [Ans. 1200 gms. wt.]

23. একটি হাইড্রলিক প্রেসের দুইটি পিস্টনের ব্যাস যথাক্রমে 8 inches এবং 80 inches, 12 ft. লম্বা একটি লিভার দণ্ডের আলম্ব বিন্দু হইতে 2 ft. দূরে ছোট পিস্টনটি আবদ্ধ। বড় পিস্টনে 5000 lbs. wt. বল উৎপন্ন করিতে হইলে লিভার দণ্ডের প্রান্তে কত বল প্রয়োগ করিতে হইবে ?

[The diameters of the pistons of a hydraulic press are respectively 8 inches and 80 inches The smaller piston is attached 2 ft from the fulcrum end of a lever 12 ft. long. What force must be applied at the end of the lever to make the press exert a force of 5000 lbs wt ? [Ans. 8·3 lbs]

24. একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট পিস্টনের ব্যাস 1″ এবং বড় পিস্টনের ব্যাস 6″; ইহা একটি হাত লিভার দ্বারা চালানো হয় এবং লিভারটির বাহুদ্বয়ের অনুপাত 1 : 8; লিভারের হাতলে 30 lbs বল প্রয়োগ [illegible] বস্তুর উপর কত বল প্রযুক্ত হইবে ?

[A hydraulic press has a small piston of diameter 1″ and a large piston of diameter 6″ It is worked by a hand lever of which the ratio of the arms is 1 : 8. If a force of 30 lbs is applied on the handle what is the force developed on the goods kept on the press ? [Ans 8640 lbs]

[Objective Type Questions]

নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির মধ্যে যদি উত্তর 'হাঁ' হয় তবে ডানদিকের শূন্যস্থানে Y এবং যেগুলির উত্তর 'না' হয় তাহার ডানদিকের শূন্যস্থানে N লিখ :-

(i) তরলের চাপ কি তরলের গভীরতার উপর নির্ভর করে ?

(ii) পাত্রের তলদেশে তরল যে চাপ উৎপন্ন করে, তাহা কি তরলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে ?

(iii) U-আকৃতির নলে দুইটি তরল পদার্থের সাম্য রক্ষিত হলে তরলের উচ্চতার বা বায়ু-মণ্ডলের চাপের কোন সম্পর্ক আছে কি ?

(iv) শহরে জল সরবরাহ ব্যবস্থা কি 'তরল একই তলে থাকিতে চায়' এই ধর্মের প্রয়োগ বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে ?

(v) কোন আবদ্ধ তরলের যে-কোন অংশে চাপ প্রয়োগ করিলে তরল সেই চাপ কি অসমানভাবে সর্বদিকে সঞ্চালিত করে ?

(vi) হাইড্রলিক প্রেসের সাহায্যে আমরা কি শক্তির দিক হইতে বিশেষ লাভবান হই ?

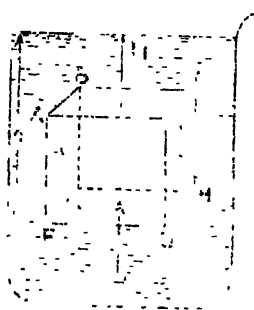
তৃতীয় পরিচ্ছেদ

ভাসমান বস্তু ও আর্কিমিডিসের নীতি

[Floating bodies and Archimedes' principle]

3-1. তরলে নিমজ্জিত কোন বস্তুর উপর মোট ঘাতের পরিমাণ

(Calculation of resultant thrust on a body immersed in a liquid) :

ABCDEFGH একটি ছয়তলবিশিষ্ট ঘনক (cube)। ঘনকটির যে-কোন পার্শের দৈর্ঘ্য l. একটি পাত্রে রক্ষিত কোন তরলের মধ্যে ঘনকটি নিমজ্জিত আছে। ঘনকটির উপরিস্থ তল (ABCD) h_1 গভীরতায় এবং তলদেশ (EFGH) h_2 গভীরতায় আছে (3ক নং চিত্র)। ঘনকটির উপর তরল প্রদত্ত মোট ঘাতের পরিমাণ নির্ণয় করিতে হইবে।

চিত্র 3ক

ঘনকটির খাড়াতল (vertical surface) যেমন ABEF বা CDGH যে-ঘাত সহ্য করিতেছে তাহা অনুভূমিক। কারণ, আমরা জানি চাপ সর্বদা তরল সংলগ্ন তলের লম্ব হয়। যেহেতু ABEF বা CDGH খাড়াতল সেই হেতু উহার প্রতিবিন্দুতে চাপ হইবে অনুভূমিক। সুতরাং যে-কোন খাড়াতলের মোট ঘাত বিপরীত খাড়াতলের ঘাতের সমান ও বিপরীত হওয়ায় খাড়াতলগুলি মোট কোন ঘাত গ্রহণ করে না।

কিন্তু উপরিস্থ ABCD তলের যে-কোন বিন্দুর উপর জলের নিম্নচাপ পড়িতেছে এবং উহার পরিমাণ $= h_1 d g$. ($d =$ তরলের ঘনত্ব)

সুতরাং সমস্ত তলে মোট নিম্নমুখী ঘাত = চাপ × ABCD তলের ক্ষেত্রফল।

$$= h_1 d.g \times l^2$$

$$= l^2 h_1.d.g$$

EFGH তলে জলের ঊর্ধ্বচাপ পড়িতেছে। আমরা জানি যে, কোন অনুভূমিক রেখায় জলের ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমান।

সুতরাং EFGH তলে যে-কোন বিন্দুতে জলের ঊর্ধ্বচাপ $= h_2 d.g.$

আবার $EFGH$ তলে মোট ঊর্ধ্বমুখী ঘাত = চাপ × ঐ তলের ক্ষেত্রফল

$$= h_2 d.g \times l^2 = l^2 h_2 d.g$$

যেহেতু $h_2 > h_1$ কাজেই $EFGH$ তলের ঊর্ধ্বমুখী ঘাত $ABCD$ তলের নিম্নমুখী ঘাতের চাইতে বেশী।

অর্থাৎ, ঘনকটির উপর মোট ঊর্ধ্বমুখী ঘাত $= l^2 h_2 d.g - l^2 h_1 d.g.$

$$= l^2 d.g\,(h_2 - h_1)$$

$$= l^3 d.g \quad [\because\ h_2 - h_1 = l\,]$$

কিন্তু l^3 ঘনকটির আয়তন এবং $l^3 \times d$ ঘনকটির সম-আয়তন তরলের ভর।

সুতরাং, $l^3 d.g$ = ঘনকটির সম-আয়তন তরলের ওজন।

অর্থাৎ, দেখা গেল যে **ঘনকটি যখন তরলে পূর্ণ নিমজ্জিত থাকে তখন ঘনকটি একটি ঊর্ধ্বমুখী ঘাত অনুভব করে এবং ঘাতের পরিমাণ হইতেছে সম-আয়তন তরলের ওজন**

উপরোক্ত প্রমাণ শুধু যে নির্দিষ্ট আকারের ঘনকের বেলায় প্রযোজ্য তাহা নহে। যে-কোন আকারের বস্তুর বেলাতেও এবং উহাটি পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত থাকিলে প্রযোজ্য হইবে। সুতরাং, সাধারণভাবে আমরা বলিতে পারি যে, কোন বস্তু আংশিক বা পরিপূর্ণভাবে তরলে নিমজ্জিত থাকিলে ঊর্ধ্বমুখী ঘাত অনুভব করিবে এবং এই ঘাত বস্তুটি যে আয়তনের তরল স্থানচ্যুত করিবে উহার ওজনের সমান হইবে।

এই ঊর্ধ্বমুখী ঘাতকে **প্লবতা** (buoyancy) বলে। এই ঘাত স্থানচ্যুত তরলের ভারকেন্দ্রে ক্রিয়া করে এবং ঐ ভারকেন্দ্রকে **প্লবতা-কেন্দ্র** (centre of buoyancy) বলে।

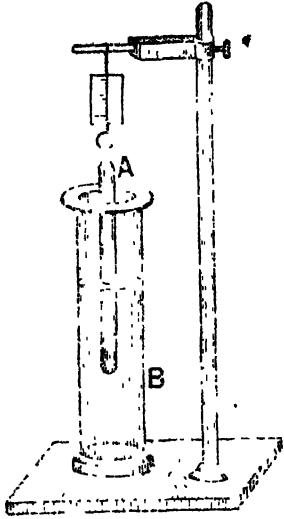
3-2. তরলে নিমজ্জমান অবস্থায় বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস (Apparent loss of weight of a body immersed in a liquid) :

আমরা দেখিলাম কোন বস্তুকে তরলে পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত করিলে বস্তু ঊর্ধ্বমুখী প্লবতা অনুভব করে যাহা স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান।

এখন বস্তুর নিজস্ব ওজন লম্বভাবে নিম্নমুখী ক্রিয়া করে এবং প্লবতা লম্বভাবে ঊর্ধ্বমুখী ক্রিয়া করে। ফলে বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস হয়। ওজনের এই আপাত-হ্রাস বস্তু যতটা তরল অপসারিত করে তাহার ওজনের সমান। যদি বস্তুর নিজস্ব ওজন হয় W_1 এবং অপসারিত তরলের ওজন হয় W_2 তবে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর আপাত-ওজন $= W_1 - W_2$

বস্তুর ওজনের এই আপাত-হ্রাস তোমরা অনেকেই হয়ত লক্ষ্য করিয়াছ। ভারী কলসী বা ভারী বস্তু যাহা নাড়াইতে বেশ কষ্ট হয় জলের ভিতর তাহা অনায়াসে নাড়ানো যায়, ইহা তোমরা হয়ত অনুভব করিয়াছ। কুয়া হইতে জল তুলিবার সময় জলপূর্ণ বালতি যতক্ষণ জলের ভিতর থাকে ততক্ষণ সহজেই টানিয়া তোলা যায়, কিন্তু জলের উপরে উঠিলেই বেশী ভারী বোধ হয়।

বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস
চিত্র ৩য়

3-3. বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস দেখাইবার পরীক্ষা (Experiment to demonstrate the apparent loss of weight of a body):

একটি নির্দিষ্ট ওজনের চোঙ A স্প্রীং-তুলার হুক হইতে ঝুলাও। স্প্রীং-তুলা যে পাঠ দিবে তাহাই চোঙের বায়ুতে ওজন। একটি বড় জলপাত্রে (B) জল রাখিয়া চোঙটি আস্তে আস্তে জলের ভিতর ডুবাও (৩য় নং চিত্র)। দেখা যাইবে স্প্রীং-তুলার পাঠ ক্রমশঃ কমিতেছে। চোঙটি যখন পূর্ণ নিমজ্জিত হইবে তখন ওজনের হ্রাস সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে।

চোঙটি জলের বাহিরে আনিলে উহা পূর্বের ওজন ফিরিয়া পাইবে। অতএব চোঙটি জলে থাকা অবস্থায় যে ওজন হ্রাস হইয়াছিল তাহা আপাত হ্রাস।

3-4 আর্কিমিডিসের নীতি (Archimedes' principle):

কোন বস্তুকে তরলে আংশিক অথবা পূর্ণ নিমজ্জিত করিলে বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস হয় এবং এই হ্রাস বস্তু যে-আয়তনের তরল স্থানচ্যুত করে তাহার ওজনের সমান। ইহাই আর্কিমিডিসের নীতি।

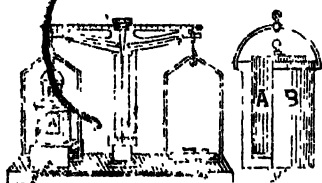
খ্রীঃ পূঃ 287 সালে গ্রীসে দার্শনিক পণ্ডিত আর্কিমিডিসের জন্ম হয়। তাঁহার উপরোক্ত বিখ্যাত নীতি আবিষ্কার সম্বন্ধে একটি গল্প প্রচলিত আছে। সাইরাকিউসের অত্যাচারী রাজা হিয়ারো একবার একটি স্বর্ণমুকুট তৈয়ারী করাইয়াছিলেন কিন্তু

তাঁহার সন্দেহ হয় যে মুকুটটি সম্পূর্ণ সোনার তৈয়ারী নয়। তখন তিনি দার্শনিক আর্কিমিডিসকে ডাকিয়া মুকুটটি না ভাঙ্গিয়া উহা নির্ণয় করিতে বলিলেন। আর্কিমিডিস মহা চিন্তায় পড়িলেন। সমস্যার সমাধান করিতে না পারিলে অত্যাচারী রাজার হাতে তাঁহার মৃত্যু নিশ্চিত। দিন তাঁহার চিন্তায় কাটে। একদিন তিনি কানায় কানায় জলে ভরা একটি চৌবাচ্চায় স্নান করিতে নামিয়া সবিস্ময়ে লক্ষ্য করিলেন যে কিছু জল উপচাইয়া পড়িল এবং নিজেকে কিছু হাল্কা বোধ হইল। তখনই তাঁহার মাথায় বিদ্যুতের মত খেলিয়া গেল যে, বস্তুকে জলে ডুবাইলে উহা কিছু জল অপসারিত করিবে এবং উহার ওজনের কিছু হ্রাস হইবে; সুতরাং মুকুটটিকেও জলে নিমজ্জিত করিলে উহা সমআয়তন জল অপসারিত করিবে এবং তাহা হইতে মুকুটের উপাদানের ঘনত্ব নির্ণয় করা যাইবে এবং উহার সহিত সোনার ঘনত্বের তুলনা করিলে বোঝা যাইবে মুকুটটি সোনা কিংবা খাদ দিয়া তৈয়ারী। শোনা যায়, তিনি তখনই ঐ অবস্থায় সাইরাকিউসের রাস্তা দিয়া ছুটিতে ছুটিতে বলিতেছিলেন, "ইউরেকা! ইউরেকা!" (অর্থাৎ, বাহির করিয়াছি! বাহির করিয়াছি!)

আর্কিমিডিস
(287-212 খ্রীঃ পূঃ)

3-5. আর্কিমিডিসের নীতির সত্যতা পরীক্ষা (Experimental verification of Archimedes' principle):

B একটি একমুখ খোলা ফাঁপা চোঙ এবং A একটি নিরেট চোঙ। A চোঙটি B-র মধ্যে আঁটিয়া বসিতে পারে অর্থাৎ A চোঙের বাহিরের আয়তন B চোঙের ভিতরের আয়তনের সমান।

আর্কিমিডিসের নীতির সত্যতা পরীক্ষা
চিত্র 3গ

তুলাদণ্ডের বামপাল্লে B-কে ঝুলাও এবং B-এর তলায় আংটার সঙ্গে A-কে ঝুলাও। এই অবস্থায় ডান তুলাপাত্রে প্রয়োজনীয় বাটখারা রাখিয়া তুলাদণ্ড অনুভূমিক কর। এখন একটি পাত্রে রক্ষিত জলের ভিতর A-চোঙকে

পরিপূর্ণ ডুবাও (3গ নং চিত্র)। দেখিও যেন জলপূর্ণ পাত্রটি তুলাপাত্রকে স্পর্শ না করে। A-চোঙকে জলে ডুবাইলে তুলাদণ্ডটি আর অনুভূমিক থাকিবে না। ডানদিকের পাল্লা নীচের দিকে নামিবে। ইহা প্রমাণ করে যে নিমজ্জিত অবস্থায় A-চোঙটির ওজনের হ্রাস হইল।

এখন ফাঁপা চোঙ B-তে আস্তে আস্তে জল ঢাল। দেখিবে ডানদিকের পাল্লা আস্তে আস্তে উঠিতেছে। যখন B চোঙটি জলপূর্ণ হইবে তখন তুলাদণ্ড আবার অনুভূমিক হইবে। B-র আভ্যন্তরিক আয়তন A-চোঙের আয়তনের সমান বলিয়া ইহা প্রমাণ করে যে A-চোঙটির যে ওজন-হ্রাস হইয়াছিল তাহা A চোঙের সম-আয়তন জলের ওজনের সমান।

3-6. আর্কিমিডিসের নীতির প্রয়োগ (Application of Archimedes' principle):

আর্কিমিডিসের নীতি প্রয়োগ করিয়া আমরা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি নির্ণয় করিতে পারি :

(ক) অসম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তন।

(খ) পদার্থের ঘনত্ব।

(গ) পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity)।

(ক) অসম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তন নির্ণয় :

ধরা যাউক, বস্তুটির বায়ুতে ওজন $= W_1$. এখন বস্তুটিকে তুলাদণ্ডের বামপ্রান্ত হইতে সুতা দিয়া ঝুলাইয়া একটি পাত্রে রক্ষিত জলের ভিতর সম্পূর্ণ নিমজ্জিত কর। এই অবস্থায় বস্তুটির ওজন বাহির কর। ধর, এই ওজন W_2.

আর্কিমিডিসের নীতি হইতে আমরা জানি,

$W_1 - W_2 =$ বস্তুটির ওজনের আপাত হ্রাস,

$=$ বস্তুটির সম-আয়তন জলের ওজন।

যদি সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ওজনগুলি লওয়া হয় তবে সম-আয়তন জলের ওজন $= (W_1 - W_2)$ গ্র্যাম। জলের ঘনত্ব 1 গ্র্যাম প্রতি ঘ. সে. মি.। সুতরাং, $(W_1 - W_2)$ গ্র্যাম জলের আয়তন $= (W_1 - W_2)$ ঘ. সে. মি.। যেহেতু, বস্তুটির সম-আয়তন জল অপসারিত করে, সেই হেতু বস্তুটির আয়তন $= (W_1 - W_2)$ ঘ. সে. মি.।

যদি এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ওজনগুলি লওয়া হয়, তবে সম-আয়তন জলের ওজন $= (W_1 - W_2)$ পাউণ্ড।

জলের ঘনত্ব 62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘ. ফুটে। সুতরাং $(W_1 - W_2)$ পাউণ্ড জলের আয়তন $= \frac{W_1 - W_2}{62 \cdot 5}$ ঘ. ফু.

যেহেতু, বস্তুটি সমআয়তন জল অপসারিত করে সেহেতু বস্তুটির এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে আয়তন $= \frac{W_1 - W_2}{62 \cdot 5}$ ঘ. ফু.

(খ) পদার্থের ঘনত্ব নির্ণয় :

পদার্থের ঘনত্ব $=$ ঐ পদার্থ-নির্মিত বস্তুর ভর / বস্তুর আয়তন

বস্তুর আয়তন পূর্বোক্ত উপায়ে নির্ণয় করা যাইবে। সুতরাং সি. জি এস্. পদ্ধতিতে উক্ত পদার্থের ঘনত্ব $= \frac{W_1}{W_1 - W_2}$ গ্রাম প্রতি ঘ সে. মি.।

তেমনি এফ্. পি এস পদ্ধতিতে পদার্থের ঘনত্ব $= \frac{W_1}{\frac{W_1 - W_2}{62 \cdot 5}}$ পাউণ্ড প্রতি ঘ ফু.

$= \frac{W_1 \times 62 \cdot 5}{W_1 - W_2}$ পাউণ্ড প্রতি ঘ ফু.

(গ) পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় :

পরবর্তী পরিচ্ছেদে বলা হইয়াছে।

3-7. বস্তুর ভাসন ও নিমজ্জন (Floatation and immersion of a body) :

আমরা জানি যে কোন বস্তুকে তরলে নিমজ্জিত করিলে বস্তু প্লবতা অনুভব করে। এই প্লবতা বস্তু কর্তৃক স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান এবং ইহা প্লবতা-কেন্দ্র দিয়া উর্ধ্বমুখী ক্রিয়া করে। বস্তুর নিজস্ব ওজন বস্তুর ভারকেন্দ্র দিয়া নিম্নমুখী ক্রিয়া করে। সুতরাং বস্তুকে তরলে নিমজ্জিত করিলে ইহার উপর এই দুইটি বল এক সঙ্গে ক্রিয়া করে। যদি বস্তুর নিজের ওজন হয় W_1 এবং প্লবতা W_2, তবে বস্তুর ভাসন ও নিমজ্জন সম্পর্কে নিম্নলিখিত তিনটি অবস্থার উদ্ভব হইতে পারে :

(1) যদি $W_1 > W_2$ হয়, অর্থাৎ, বস্তুর ওজন প্লবতা অপেক্ষা বেশী। এক্ষেত্রে বস্তুর ওজন বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজনের চাইতে বেশী হওয়ায় বস্তুটি নীচের দিকে যাইবে অর্থাৎ, তরলে ডুবিয়া যাইবে। সাধারণতঃ বস্তু যে পদার্থে তৈরী তাহার ঘনত্ব তরলের ঘনত্বের বেশী হইলে ঐ বস্তু ঐ তরলে

ডুবিয়া যায়। যেমন এক খণ্ড লোহা বা পাথর জলে ফেলিয়া দিলে জলে ডুবিয়া যায়।

(2) যদি $W_1 = W_2$ হয়, অর্থাৎ, বস্তুর ওজন প্লবতার সমান হয় তবে ঐক্ষেত্রে বস্তুর ওজন বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজনের সমান হওয়ায় বস্তুটি তরলের ভিতর যে-কোন স্থানে স্থির হইয়া থাকিবে। সম-আয়তন জল ও অ্যাল্‌কোহল মিশ্রিত করিয়া তাহার ভিতর এক ফোঁটা অলিভ তেল ফেলিয়া দিলে ফোঁটাটি মিশ্রণের ভিতর যে-কোন স্থানে থাকিবে। এস্থলে মিশ্রণের ঘনত্ব অলিভ তেলের ঘনত্বের সমান বলিয়াই এরূপ হয়।

(3) যদি $W_1 < W_2$ হয়, অর্থাৎ বস্তুর ওজন প্লবতা অপেক্ষা কম হয় তবে ঐক্ষেত্রে বস্তুর ওজন বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজনের কম বলিয়া উহা ঊর্ধ্বমুখী বল অনুভব করিবে। তাহার ফলে বস্তুটি ভাসিয়া উঠিবে। তরলের ঘনত্ব বস্তু যে-পদার্থে নির্মিত তাহার ঘনত্বের বেশী হইলেই এইরূপ অবস্থার উদ্ভব হয়। যেমন, এক টুক্‌রা কাঠকে জলে ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা ভাসিয়া উঠে।

3-8. সাম্যাবস্থায় ভাসনের শর্ত (Conditions of equilibrium of floating bodies):

আমরা দেখিলাম যে এক টুক্‌রা কাঠকে জলে ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা ভাসিয়া উঠিবার চেষ্টা করে, কারণ টুক্‌রাটির ওজন সমআয়তন জলের ওজনের চাইতে কম। টুক্‌রাটি যত জলের বাহিরে আসিতে থাকে তত অপসারিত জলের পরিমাণ কমিতে থাকে এবং ঊর্ধ্বঘাত কমিতে থাকে। টুক্‌রাটি যখন স্থির হইয়া ভাসিবে তখন ইহার কিয়দংশ জলে ডুবানো থাকিবে এবং বাকী অংশ জলের বাহিরে থাকিবে যাহাতে নিমজ্জিত অংশ যে-জল অপসারিত করিবে তাহার ওজন টুক্‌রাটির ওজনের সমান হইবে। অর্থাৎ, বস্তু স্থির হইয়া ভাসিতে গেলে নিম্নোক্ত দুইটি শর্ত পূরণ করিতে হইবে:

(1) **বস্তুটির এমন অংশ তরলে নিমজ্জিত থাকিবে যাহাতে অপসারিত তরলের ওজন বস্তুটির ওজনের সমান হয়।**

(2) **বস্তুর ভারকেন্দ্র ও প্লবতা-কেন্দ্র একই লম্ব** (vertical) **রেখায় থাকিবে।**

দ্বিতীয় শর্তটি বুঝাইয়া বলা যাউক। ধর, একটি বস্তুর ভারকেন্দ্র G অর্থাৎ G বিন্দু দিয়া বস্তুর ওজন W_1 নিম্নাভিমুখী ক্রিয়া করিতেছে (3ঘ নং

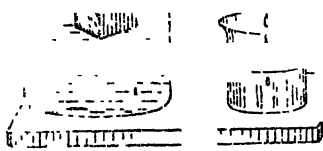
চিত্র) এবং G' প্লবতা-কেন্দ্র অর্থাৎ G' বিন্দু দিয়া অপসারিত জলের ওজন W_2 ঊর্ধ্বাভিমুখী ক্রিয়া করিতেছে। ভাসিবার প্রথম শর্তানুযায়ী $W_1 = W_2$, কিন্তু চিত্র হইতে স্পষ্টই বোঝা যায় যে বিপরীতমুখী সমান দুইটি বল একই লম্ব-রেখায় ক্রিয়া না করিলে বস্তুটি সাম্য অবস্থায় থাকিতে পারে না।

ভারকেন্দ্র ও প্লবতা-কেন্দ্র এক লম্বরেখায় না থাকিলে বস্তু স্থির হইয়া ভাসিবে না

চিত্র 3ঘ

অর্থাৎ, সাম্যাবস্থায় থাকিবার জন্য G এবং G' একই লম্বরেখায় থাকা অপরিহার্য।

3-9. তরলে ভাসমান বস্তু নিজ ওজনের সমান ওজন-বিশিষ্ট তরল অপসারণ করে (A floating body displaces liquid whose weight is same as the weight of the body) :

এক টুকরা কাঠ লইয়া তুলাযন্ত্রের সাহায্যে ওজন নির্ণয় কর। 3ঙ নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ একটি নির্গমন নল (exit tube) যুক্ত কাচপাত্র লও এবং উহাতে জল ঢাল যেন জলের তল নির্গমন-নলের মুখ বরাবর থাকে। একটু বেশী জল ঢালা হইলে নল দিয়া অতিরিক্ত জল বাহির হইয়া যাইবে। এইবার একটি ওজন করা খালি কাচের বীকার ঐ নলের নীচে রাখ যাহাতে নল দিয়া জল পড়িলে জল বীকারে জমা হইতে পারে। এখন আস্তে আস্তে কাঠের টুকরাটিকে কাচপাত্রের জলে ভাসাও। খানিকটা জল নির্গমন-নল বাহিয়া বীকারে পড়িবে। যখন জল পড়া বন্ধ হইবে তখন জলসহ বীকার ওজন কর। উহা হইতে জলের ওজন পাওয়া যাইবে; দেখিবে যে জলের ওজন কাঠের টুকরার ওজনের সমান হইল। সুতরাং ভাসমান অবস্থায় কাঠের টুকরা যে জল অপসারণ করে উহার ওজন টুকরার ওজনের সমান।

ভাসমান বস্তু নিজ ওজনের সমান ওজনবিশিষ্ট তরল অপসারণ করে

চিত্র 3ঙ

10. ভাসনের কয়েকটি উদাহরণ :

(1) বরফ জলে ভাসে কেন ?

সাম্যাবস্থায় ভাসনের শর্ত আলোচনার সময় আমরা দেখিয়াছি যে ভাসিতে গেলে বস্তুর কিয়দংশ তরলে নিমজ্জিত থাকে এবং কিয়দংশ তরলের বাহিরে থাকে। কারণ, বস্তুর ওজন সম-আয়তন তরলের ওজনের চাইতে কম। অর্থাৎ ভাসমান বস্তুকে সম-আয়তন তরল অপেক্ষা হাল্কা হইতে হইবে। জল জমিয়া বরফে পরিণত হইলে সেই বরফ জলে ভাসিতে দেখা যায়। ইহার কারণ কি ? ভাসনের শর্ত হইতে ইহাই দাঁড়ায় যে বরফের টুক্‌রা সম-আয়তন জলের চাইতে হাল্কা। সত্যিই তাই। দেখা গিয়াছে 1 c. c. বরফের ওজন ·92 gm. অথচ 1 c. c. জলের ওজন প্রায় 1 gm। কাজেই বরফের কোন টুক্‌রা সম-আয়তন জলের চাইতে হাল্কা। এই কারণে বরফ জলে ভাসে। কোন এক টুক্‌রা বরফকে জলে ছাড়িয়া দিলে ভাসমান অবস্থায় উহার আয়তনের $\frac{11}{12}$ ভাগ জলের ভিতরে এবং $\frac{1}{12}$ ভাগ জলের বাহিরে থাকিবে, কারণ পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে 0°C তাপমাত্রায় 11 cc. জল জমিয়া 0°C তাপমাত্রায় 12 c c. বরফে পরিণত হয়।

(2) জাহাজ জলে ভাসে কেন ?

এক টুক্‌রা লোহা জলে ডুবিয়া যায়, কিন্তু লোহার তৈয়ারী জাহাজ তাহার বিরাট আকৃতি লইয়া জলে ভাসে। ইহার কারণ কি ?

লোহার টুকরাকে যদি এমন আকার দেওয়া যায় যাহাতে টুকরাটি যে-পরিমাণ জল অপসারিত করিবে তাহার ওজন টুকরাটির ওজনের চাইতে বেশী—তাহা হইলেই টুক্‌রাটি জলে ভাসিবে। আমরা জানি, লোহার কড়াই জলে ভাসে।

জাহাজ জলে ভাসিবার কারণ একই। জাহাজের তলদেশ কড়াইয়ের মত এমন বাঁকানো যে তলদেশ যথেষ্ট পরিমাণ জল অপসারিত করিতে পারে। ফলে জাহাজ জলে ভাসিতে পারে। যেমন, কোন জাহাজ যদি 70,000 টন জল অপসারণ করে তবে যাত্রী, মালপত্র এবং জাহাজের নিজের ওজন সহ মোট 70,000 টন হইলে, ঐ জাহাজ অনায়াসে জলে ভাসিবে।

নদীর জলের ঘনত্ব সমুদ্রের লবণাক্ত জলের ঘনত্বের চাইতে কম। কাজেই নদীর জলের প্লবতা সমুদ্র জলের প্লবতা অপেক্ষা কম। সেইজন্য কোন জাহাজ সমুদ্র হইতে নদীতে প্রবেশ করিলে জাহাজের বেশী অংশ জলে নিমজ্জিত হয়।

বন্দরে নোঙর করা কোন জাহাজ লক্ষ্য করিলে দেখিবে যে উহার গায়ে সাদা রং দিয়া কয়েকটি দাগ দেওয়া আছে। এই দাগগুলিকে **প্লিম্‌সল্ রেখা (Plimsoll lines)** বলে। জাহাজে মালপত্র ইত্যাদি এমনভাবে বোঝাই করিতে হইবে যেন জাহাজ ঐ দাগের বেশী জলে না ডুবিয়া যায়। এই রেখাগুলির মধ্যে যেটির কাছে 'FW' লেখা ঐ পর্যন্ত সর্বাপেক্ষা বেশী ডুবানো চলিবে এবং যেটির কাছে 'W' লেখা সেই পর্যন্ত সবাপেক্ষা কম ডুবানো চলিবে। এই প্রথা চালু হইবার পূর্বে জাহাজে মাল বোঝাই করিবার কোন আইন বা নিয়ম ছিল না। ফলে, সমুদ্রে একটু ঝড়-বাদল হইলেই দুর্ঘটনা ঘটিত। 1876 খ্রীষ্টাব্দে ক্যাপ্টেন স্যামুয়েল প্লিম্‌সলের আন্দোলনের ফলে আইন পাশ করিয়া জাহাজে মাল বোঝাই সম্পর্কে বাধানিষেধ আরোপ করা হইল এবং প্লিম্‌সল্ রেখার প্রবর্তন করা হইল।

জল হইতে ভারী কোন দ্রব্যকে জলে ভাসাইয়া রাখিবার আর একটি উপায় আছে—উপযুক্ত সাইজের হাল্‌কা দ্রব্য উহার সহিত যুক্ত করা। ইহাতে বেশী পরিমাণ জল অপসারিত হইবে এবং বেশী ঊর্ধ্বঘাত প্রাপ্ত হইবে কিন্তু বস্তুর ওজন খুব বেশী বাড়িবে না। **জীবন-রক্ষা** (life-belt) বা **বয়া** এই নীতিতে কাজ করে। হাল্‌কা বায়ুপূর্ণ থলি দিয়া জীবন-রক্ষা নির্মাণ করা হয় এবং উহার সাহায্যে মানুষ অনায়াসে জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে।

(3) মানুষ সাঁতার কাটে কি করিয়া?

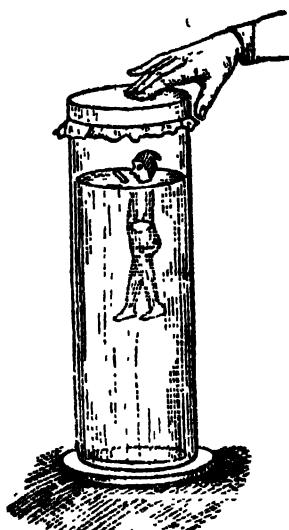
মানুষের দেহ সম-আয়তন জলের চাইতে হাল্‌কা কিন্তু মাথা ওজনে ভারী, কাজেই দেহ সহজে জলে ভাসে কিন্তু মাথা জলে ডুবিয়া যাইতে চায়। সেইজন্য হাত-পা নাড়িয়া জলে চাপ দিয়া মাথা জলের বাহিরে রাখিতে পারার নামই সাঁতার কাটা। সেইজন্য সাঁতার মানুষের স্বতঃস্ফূর্ত নয়—শিখিয়া লইতে হয়। কিন্তু জন্তু-জানোয়ারের পক্ষে [illegible]। ইহার কারণ জন্তুদের মাথা সম-আয়তন জলের চাইতে হালকা কিন্তু দেহ ওজনে ভারী।

(4) কার্টেসীয় ডাইভার (Cartesian diver):

ইহা একটি উদস্থৈতিক পুতুল এবং ইহার দ্বারা তরলে চাপ সঞ্চালন সম্পর্কিত প্যাস্কালের সূত্র এবং ভাসন ও নিমজ্জনের শর্তগুলির সত্যতা পরীক্ষা করা যায়।

$\frac{3}{4}$ অংশ জলপূর্ণ একটি লম্বা কাচের চোঙের মুখ একটি রবার টুক্‌রা দ্বারা শক্ত করিয়া আট্‌কানো। চোঙের অভ্যন্তরস্থ জলের উপরের অংশ বায়ুপূর্ণ। জলের ভিতর একটি পুতুল রাখা আছে। ইহাকে ডাইভার বা ডুবুরী বলে। পুতুলটি ফাঁপা কিন্তু একটি ছোট ল্যাজের সাহায্যে ভিতরের সঙ্গে বাহিরের সংযোগ আছে। পুতুলটির ভিতরের খানিকটা অংশ জলভর্তি এবং বাকিটা

বায়ুপূর্ণ। সাধারণ অবস্থায় পুতুলটির ওজন এমন যে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় উহা জলে ভাসে (3চ নং চিত্র)।

এখন রবার টুকরাকে হাত দিয়া চাপিলে জলের উপরিস্থ বায়ু সংকুচিত হইবে এবং পাস্কালের সূত্রানুযায়ী জল এই চাপ পুতুলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুতে সঞ্চালিত করিবে। ফলে, পুতুলের অভ্যন্তরের বায়ুও সংকুচিত হইবে এবং খানিকটা জল পুতুলের ভিতরে প্রবেশ করিয়া পুতুলটিকে ভারী করিয়া দিবে। অর্থাৎ, এই অবস্থায় পুতুলটির ওজন সম-আয়তন জলের ওজনের চাইতে বেশী হওয়ায় পুতুলটি জলে ডুবিয়া যাইবে। রবারের উপরকার চাপ ছাড়িয়া দিলে সর্বত্র এই চাপ কমিয়া যাইবে। সুতরাং পুতুলের ভিতরের বায়ু পুনরায় আয়তনে বাড়িবে এবং অতিরিক্ত জল পুতুল হইতে বাহির করিয়া দিবে। এই অবস্থায় পুতুলটির ওজন অপসারিত জলের ওজনের চাইতে হাল্কা হওয়ায় পুতুলটি পুনরায় জলের উপর ভাসিয়া উঠিবে।

কার্টেসীয় ডাইভার
চিত্র 3চ

রবারের টুকরার উপর চাপ নিয়ন্ত্রিত করিলে পুতুলের ভিতরে এমন পরিমাণ জল প্রবেশ করিবে যে পুতুলটির তখনকার ওজন সম-আয়তন জলের ওজনের সমান হইবে। এই অবস্থায় পুতুলটিকে জলের ভিতর যে-কোন স্থানে রাখা যাইবে।

কাজেই কার্টেসীয় ডাইভার নিম্নলিখিত বিষয়গুলি পরিষ্কারভাবে বুঝাইয়া দেয়:
(i) তরলের চাপ সঞ্চালন সম্পর্কিত পাস্কালের সূত্র (ii) ভাসন ও নিমজ্জনের নীতি ও (iii) গ্যাসের সংনম্যতা (compressibility)।

(5) ডুবোজাহাজের (Submarine) কার্যপ্রণালী:

ডুবোজাহাজ ইচ্ছামত জলের উপর ভাসিতে পারে অথবা জলের নীচ দিয়া যাইতে পারে। ইহার কার্যপ্রণালী কার্টেসীয় ডাইভারের কার্যপ্রণালীর অনুরূপ।

ডুবোজাহাজে কতকগুলি প্রকোষ্ঠ থাকে—ইহাদের Ballast tanks বলা হয়। এই প্রকোষ্ঠগুলিকে ইচ্ছামত জলপূর্ণ বা বায়ুপূর্ণ করা যায়। যখন ডুবোজাহাজ ডুবিয়া যাইতে ইচ্ছা করে তখন পাম্প দ্বারা এই প্রকোষ্ঠগুলি জলপূর্ণ করা হয়। ফলে জাহাজের ওজন উহার সম-আয়তন জলের ওজনের চাইতে বেশী হয় এবং জাহাজ জলে ডুব দেয়। আবার ভাসিয়া উঠিতে ইচ্ছা করিলে পাম্প দ্বারা প্রকোষ্ঠের জল বাহির করিয়া বায়ুপূর্ণ করা হয়। ফলে জাহাজটি হাল্‌কা হয় এবং জলের উপর ভাসিয়া উঠে।

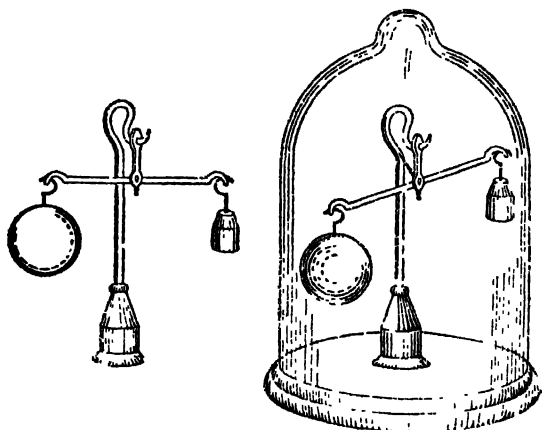
3-11. বায়ুর প্লবতা এবং বায়ুতে আর্কিমিডিসের নীতির প্রয়োগ (Buoyancy of air and application of Archimedes' principle to air):

আর্কিমিডিসের নীতি আলোচনার সময় তোমরা জানিয়াছ যে কোন বস্তুকে তরলে নিমজ্জিত করিলে বস্তু একটি ঊর্ধ্বঘাত অনুভব করে। এই ঊর্ধ্বঘাতকে 'প্লবতা' (buoyancy) বলে এবং ইহার জন্য নিমজ্জিত বস্তুর ওজন কম বলিয়া মনে হয়। তোমরা আরও জান যে এই ঊর্ধ্বঘাত বস্তু যতখানি তরল অপসারণ করে উহার ওজনের সমান। এই সম্পর্কে তরল ও গ্যাসের ব্যবহার অবিকল এক রকম। অর্থাৎ, তরলের ন্যায় গ্যাসও ঊর্ধ্বঘাত প্রয়োগ করিতে সক্ষম। বায়ু একপ্রকার গ্যাস হওয়ায় বায়ুতে নিমজ্জিত সকল বস্তুই এই ঊর্ধ্বঘাত অর্থাৎ প্লবতা অনুভব করিবে। সুতরাং একথা বলা যাইতে পারে যে জলে নিমজ্জিত করিয়া কোন বস্তুকে ওজন করিলে যেমন উহা বস্তুর প্রকৃত ওজন হয় না—প্রকৃত ওজন অপেক্ষা কিছু কম হয়, তেমনি বায়ুর মধ্যে কোন বস্তুকে ওজন করিলে উহাও বস্তুর প্রকৃত ওজন হইবে না, প্রকৃত ওজন অপেক্ষা সামান্য কম হইবে। বায়ু খুব হাল্‌কা বলিয়া সাধারণ ক্ষেত্রে ওজনের এই তারতম্য বোঝা যায় না। কিন্তু উপযুক্ত পরীক্ষা-ব্যবস্থার দ্বারা ইহা প্রমাণ করা যায়। অতএব আমরা বলিতে পারি যে, তরলের ন্যায় গ্যাসের বেলাতেও আর্কিমিডিসের নীতি প্রয়োজ্য। আর্কিমিডিসের নীতির সাধারণ সংজ্ঞা হিসাবে বলা যাইতে পারে যে, **কোন বস্তুকে তরলে অথবা বায়বীয় পদার্থে আংশিক বা পূর্ণ নিমজ্জিত করিলে বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস হয় এবং এই হ্রাস বস্তু যে আয়তনের তরল বা বায়বীয় পদার্থ স্থানচ্যুত করে তাহার ওজনের সমান।**

নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা বায়ুর প্লবতা প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা ঃ 3ছ নং চিত্রে একটি বিশেষ ধরনের তুলাযন্ত্র দেখানো হইয়াছে। ইহাকে ব্যারোস্কোপ (Baroscope) বলে। এই যন্ত্রে কোন তুলাপাত্র নাই— উহার বদলে তুলাদণ্ডের দুই প্রান্ত হইতে দুইটি বস্তু ঝুলানো আছে। বাঁ পাশের বস্তুটি ফাঁপা কাচের গোলক এবং ডানদিকেরটি সীসা বা পিতলের ছোট

(i) ব্যারোস্কোপ (ii)

চিত্র 3ছ

বাটখারা। কাচের গোলকের আয়তন (volume) বেশী হওয়ায় উহা বাটখারা অপেক্ষা বেশী পরিমাণ বায়ু অপসারিত করিবে; কাজেই উহার উপর বায়ুর ঊর্ধ্বঘাতও বেশী হইবে। অতএব প্লবতার দরুন ওজন-হ্রাস কাচের গোলকের বেশী হইবে। ধর বাটখারা এবং কাচের গোলকটি এমন লওয়া হইল যে বায়ুর ভিতরে উহাদের যে আপাত-ওজন (apparent weight) হয় তাহা সমান অর্থাৎ বায়ু-মধ্যে থাকাকালীন উহারা তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক রাখে [চিত্র 3ছ (i) দেখ]। এইবার উহাদের বায়ু নিষ্কাশক পাম্পের রেকাবীর উপর রাখিয়া একটি বড় কাচপাত্র দিয়া ঢাকিয়া দাও। রেকাবী ও কাচপাত্রের জোড়ের মুখ ভেসলীন বা মোম দিয়া নিশ্ছিদ্র-ভাবে বন্ধ কর। পাম্পের সাহায্যে কাচপাত্রের ভিতর হইতে বায়ু বাহির করিয়া লইলে দেখিবে যে, তুলাদণ্ড আর অনুভূমিক নাই। দণ্ডের যে-প্রান্তে কাচের গোলক আছে সেই প্রান্ত ঝুঁকিয়া পড়িয়াছে [চিত্র 3ছ (ii) দেখ]।

ইহার কারণ কি? কারণ এই যে বায়ু না থাকাতে বায়ুর প্লবতা থাকিবে না; কাজেই গোলক ও বাটখারা এখন উহাদের প্রকৃত ওজন ফিরিয়া পাইবে। কিন্তু প্লবতার দরুন গোলকের ওজন-হ্রাস বেশী ছিল বলিয়া উহার প্রকৃত-ওজন বাটখারার ওজন অপেক্ষা বেশী হইবে (প্রকৃত-ওজন = আপাত-ওজন + প্লবতার দরুন হ্রাস-প্রাপ্ত ওজন)। তাই, বায়ু নিষ্কাশন করিয়া লইলে কাচের গোলক ভারী হইয়া নীচের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে। কাজেই বলা যাইতে পারে যে বায়ুশূন্য স্থানে কোন বস্তুর ওজন বায়ুমধ্যে ওজন অপেক্ষা বেশী।

(ক) এক পাউণ্ড তুলা এক পাউণ্ড লোহা অপেক্ষা ভারী:
এই রকম একটা কথা বোধ হয় তোমরা শুনিয়া থাকিবে। কথাটা তোমাদের কানে হয়ত গোলমেলে মনে হইতে পারে। উভয়েই যদি এক পাউণ্ড হয় তবে একটি অপরটি অপেক্ষা ভারী হয় কিরূপে? কিন্তু একটু ভাবিলেই এই উক্তির মর্ম উপলব্ধি করিতে পারিবে। এক পাউণ্ড তুলা বা এক পাউণ্ড লোহা বলিতে সাধারণত আমরা উহাদের বায়ুতে ওজন বুঝি। কিন্তু এই ওজন তো উহাদের প্রকৃত ওজন নয়, ইহা আপাত ওজন। এক পাউণ্ড তুলার আয়তন এক পাউণ্ড লোহা অপেক্ষা অনেক বেশী। কাজেই তুলা বেশী বায়ু অপসারণ করিবে এবং বেশী ঊর্ধ্বঘাত অনুভব করিবে। এই কারণে উহার ওজন-হ্রাসও বেশী হইবে। কিন্তু বায়ুশূন্য স্থানে ওজন করিলে উহাদের প্রকৃত ওজন পাওয়া যাইবে এবং বায়ুর ঊর্ধ্বঘাত না থাকার দরুন তুলা বেশী ভারী হইবে।

(খ) বেলুন উড়ে কেন?

আমরা দেখিলাম যে, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ অনেক ক্ষেত্রে একই রকম ব্যবহার করে। তরলে নিমজ্জিত কোন বস্তু যেমন ঊর্ধ্বমুখী ঘাত অনুভব করে যাহার ফলে তরল হইতে হাল্কা বস্তু ভাসিয়া উঠিতে চায়, তেমনি বায়ুতে নিমজ্জিত বস্তুও স্থানচ্যুত বায়ু কর্তৃক ঊর্ধ্বমুখী ঘাত অনুভব করে। সুতরাং বায়ু হইতে হাল্কা কোন বস্তু বায়ু মধ্যে রাখিলে উহা ভাসিয়া উপরে উঠিতে চেষ্টা করিবে। ইহাই হইল বেলুন উড়িবার নীতি। তোমরা অনেকেই ফানুস উড়ানো দেখিয়াছ। ফানুসে কাগজের আধারে কিছু বায়ু আবদ্ধ রাখা হয় এবং উহার তলায় আগুন ধরাইবার ব্যবস্থা থাকে। বায়ু গরম হইয়া যেই হাল্কা হয় তখন ফানুস উপরে উঠে।

বেলুন নির্মিত হয় সিল্কের কাপড় দ্বারা। উহার ভিতর হাইড্রোজেন গ্যাস ভর্তি থাকে। হাইড্রোজেন বায়ু হইতে হাল্কা। সুতরাং বেলুন ফুলিয়া

উঠিলে যে-আয়তনের বায়ু স্থানচ্যুত করে উহার ওজন বেলুনের ওজন অপেক্ষা বেশী হওয়ায় বেলুন অনায়াসে ভাসিয়া উপরে উঠে। খুব বড় সাইজের বেলুন হইলে উহা অনেক বায়ু অপসারণ করিবে এবং উহাতে ঊর্ধ্বঘাত এত বেশী হইবে যে মানুষ সহ বেলুন ঊর্ধ্বে উঠিতে পারিবে। এই রকমের ঊর্ধ্বে আরোহণের কাহিনী হয়ত তোমরা শুনিয়া থাকিবে। গ্লেশার এবং কক্সওয়েল নামক দুইজন আরোহী এই প্রকার বেলুনের সাহায্যে প্রায় 29,000 ফুট উচ্চে আরোহণ করিয়াছিলেন। একটি কথা মনে রাখিবে যে এই বেলুনের সাহায্যে যত খুশী উচ্চে আরোহণ করা যায় না। কারণ যত উচ্চে উঠা যায় বায়ুর ঘনত্ব ও চাপ তত কমিয়া যায়। ইহাতে বেলুনের উপর ঊর্ধ্বঘাত কমিয়া যায়। বেলুনের ওজনের উপর নির্ভর করিয়া একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় পৌছিলে বায়ুর ঊর্ধ্বঘাত বেলুনের ওজনের সমান হইয়া পড়ে। তখন বেলুন আর উপরে উঠে না।

হাইড্রোজেন গ্যাস ছাড়া বেলুনে হিলিয়াম গ্যাসও ভর্তি করা হয়। হাইড্রোজেনের অসুবিধা এই যে ইহা দাহ্য পদার্থ—কিন্তু হিলিয়াম দাহ্য পদার্থ নয়। কিন্তু হাইড্রোজেনের সুবিধা এই যে, ইহা হিলিয়াম অপেক্ষা হাল্‌কা।

(গ) বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা (Lifting power of a balloon) :

বেলুন ফুলিয়া উঠিলে উহা যতখানি বায়ু অপসারিত করে উহার ওজন বেলুনের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের ওজন অপেক্ষা বেশী হইলে বেলুন উপরে উঠে ইহা আমরা জানি। এই দুই ওজনের পার্থক্যকে বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা বলে। নিম্নলিখিত উপায়ে বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা নির্ণয় করা যায়।

মনে কর, বায়ুর ঘনত্ব $= d_1$

বেলুনের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের ঘনত্ব $= d_2$

বেলুনের বাহিরের আয়তন অর্থাৎ অপসারিত বায়ুর আয়তন $= V_1$

বেলুনের অভ্যন্তরের আয়তন অর্থাৎ অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের „ $= V_2$

কাজেই, অপসারিত বায়ুর ওজন $= V_1 d_1$

এবং বেলুনের গ্যাসের ওজন $= V_2 d_2$ „

অতএব, বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা $= V_1 d_1 - V_2 d_2$

সাধারণত V_1 এবং V_2 সমান। কাজেই উত্তোলন ক্ষমতা $= V_1(d_1 - d_2)$

এই ক্ষমতার খানিকটা বেলুনের ওজন এবং বেলুনের অভ্যন্তরস্থ আরোহী ও অন্যান্য সাজসরঞ্জামের ওজন কাটাইবার জন্য ব্যয়িত হয়।

(a) বেলুনে যদি হাইড্রোজেন থাকে, তবে আমরা জানি হাইড্রোজেনের ঘনত্ব= ·0698 × বায়ুর ঘনত্ব। সেক্ষেত্রে, উত্তোলন ক্ষমতা $= V_1 d_1 \times (1 - ·0698)$

$= V_1 d_1 \times ·9807.$

(b) বেলুনে যদি হিলিয়াম থাকে, তবে আমরা জানি হিলিয়ামের ঘনত্ব= ·1387 × বায়ুর ঘনত্ব। সেক্ষেত্রে উত্তোলন ক্ষমতা $= V_1 d_1 (1 - ·1387).$

$= V_1 d_1 \times ·8613.$

উদাহরণ :

(1) কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 50 gms., কিন্তু জলের ভিতর ওজন 40 gms। বস্তুটির উপাদানের ঘনত্ব কত ?

[A body weighs 50 gms in air and 40 gms in water. What is its density ?]

উ। বস্তুটির ওজনদ্বয়ের অন্তরফল = অপসারিত জলের ওজন

সুতরাং, অপসারিত জলের ওজন = 50 − 40 = 10 gms.

যেহেতু, জলের ঘনত্ব 1 gm/c c. কাজেই,

$$\text{অপসারিত জলের আয়তন} = \frac{\text{জলের ওজন}}{\text{জলের ঘনত্ব}} = \frac{10}{1} = 10 \text{ c c.}$$

সুতরাং, বস্তুটির আয়তন = 10 c.c.

$$\therefore \text{ বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{বস্তুর আয়তন}} = \frac{50}{10} = 5 \text{ gms/c c.}$$

(2) একখণ্ড লোহার ওজন 275 gms , পারদে লৌহখণ্ডটি নিজ আয়তনের $\frac{5}{9}$ অংশ নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসিতে পারে। পারদের ঘনত্ব 13·59 gms/c.c. হইলে লৌহের ঘনত্ব বাহির কর।

[A piece of iron weighs 275 gms. It floats in mercury with $\frac{5}{9}$th of its volume immersed. If density of mercury be 13·59 gms/c.c. calculate the density of iron.]

উ। ধরা যাউক, লোহার খণ্ডটির আয়তন = V c c.

$$\text{সুতরাং, নিমজ্জিত অংশের আয়তন} = \frac{5V}{9} \text{ c.c}$$

$$\text{,, অপসারিত পারদের আয়তন} = \frac{5V}{9} \text{ c.c.}$$

$$\text{অথবা, ,, ,, ওজন} = \frac{5V}{9} \times 13·59 \text{ gms}$$

যেহেতু, লৌহখণ্ডটি ভাসিতেছে,

$$\text{কাজেই } \frac{5V}{9} \times 13{\cdot}59 = 275$$

$$\text{অথবা, } \quad V = \frac{275 \times 9}{5 \times 13{\cdot}59} = 36{\cdot}42 \text{ c.c.}$$

$$\text{সুতরাং, লৌহের ঘনত্ব} = \frac{\text{ওজন}}{\text{আয়তন}} = \frac{275}{36{\cdot}42}$$

$$= 7{\cdot}55 \text{ gms/c.c.}$$

(3) দুইটি বস্তুকে তুলাদণ্ডের দুই প্রান্ত হইতে ঝুলাইয়া জলে নিমজ্জিত করিলে তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক হয়। একটি বস্তুর ওজন 23 gms ও ঘনত্ব 5·6 gms/c.c, অপর বস্তুটির ওজন 36 gms হইলে উহার ঘনত্ব কত ?

[Two bodies balance each other when suspended from the arms of a balance in water. The mass of one is 28 gms and its density is 5·6 gms/c.c. If the mass of the other is 36 gms, what is its density ?]

উঃ ধর, উহার ঘনত্ব $= d$ gms/c.c.

জলে নিমজ্জিত অবস্থায় দুই বস্তুর আপাত ওজন সমান।

$$\text{প্রথম বস্তুর আয়তন} = \frac{28}{5{\cdot}6} = 5 \text{ c.c}$$

প্রথম বস্তুর আপাত ওজন = প্রকৃত ওজন − সম-আয়তন জলের ওজন

$$= 28 - 5$$

$$= 23 \text{ gms.}$$

$$\text{তেমনি, দ্বিতীয় বস্তুর আয়তন} = \frac{36}{d} \text{ c.c}$$

$$\therefore \quad \text{ঐ বস্তুর আপাত ওজন} = 36 - \frac{36}{d}$$

$$\therefore \quad 36 - \frac{36}{d} = 23$$

$$\text{or,} \quad \frac{36}{d} = 13$$

$$\text{or,} \quad d = \frac{36}{13} = 2{\cdot}77 \text{ gms/c.c.}$$

(4) 14 cm. ব্যাসের একটি চোঙাকৃতি পাত্রের তলদেশ হইতে 985·6 gms ওজনের একটি তামার খণ্ড ঝুলাইয়া জলে ভাসাইলে পাত্রটি উহার উচ্চতার 5 cm নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসে। যদি খণ্ডটিকে পাত্রের মধ্যে রাখিয়া পাত্রটিকে জলে ভাসানো যায় তাহা হইলে উহার উচ্চতার কতটা জলে নিমজ্জিত থাকিবে? তামার ঘনত্ব = 9 gms/c.c.

[A cylindrical can 14 cm. in diameter floats in water with 5 cm of its height immersed below the surface of water when a copper block of mass 985·6 gms hangs from its bottom. If the block is now placed inside the can, what height of the can would be below the surface of water ?]

উ। প্রথমবার, পাত্র এবং খণ্ড উভয়েই জল অপসারণ করিবে এবং ভাসনের শর্ত অনুযায়ী অপসারিত জলের ওজন উভয়ের ওজনের যোগফলের সমান হইবে।

অতএব, $\pi (7)^2 \times 5 + \frac{985·6}{9} =$ পাত্রের ওজন $+ 985·6$ ...(i)

দ্বিতীয় বার, তামার খণ্ড পাত্রের ভিতরে থাকায় শুধু পাত্র জল অপসারণ করিবে এবং অপসারিত জলের ওজন পাত্র ও তামার খণ্ডের ওজনের যোগফলের সমান হইবে।

অতএব, $\pi (7)^2 \times h =$ পাত্রের ওজন $+ 985·6$ ...(ii)

[$h =$ পাত্রের যে-উচ্চতা জলে নিমজ্জিত]

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ হইতে আমরা লিখিতে পারি,

$$\pi (7)^2 \times h = \pi (7)^2 \times 5 + \frac{985·6}{9}$$

$$\text{or,} \quad \pi (7)^2 (h - 5) = \frac{985·6}{9}$$

$$\text{or,} \quad \frac{22}{7} \times 7 \times 7 (h - 5) = \frac{985·6}{9}$$

$$\therefore \quad h - 5 = \frac{985·6}{9 \times 22 \times 7} = 0·71$$

$$\therefore \quad h = 5·71 \text{ cm.}$$

(5) 100 c.c আয়তনের এবং 0.85 gm/c.c. ঘনত্বের একটি বস্তু জলে ভাসিতেছে। জলের উপর 0.8 gm/c.c. ঘনত্বের একটি তরল পদার্থ ঢালা হইল যাহাতে বস্তুটি সম্পূর্ণ আবৃত হয়। বস্তুটির কত আয়তন এখন জলে ডুবিয়া আছে ?

[A body of density 0.85 gm./c.c. and of volume 100 c.c. floats in water. Oil of density 0.8 gm/c.c. is poured on water just enough to cover the body. What volume of the body would be now under water ?]

উ। বস্তুর ওজন = আয়তন × ঘনত্ব = $100 \times 0.85 = 85$ gms.

ধর, বস্তুর V c.c. আয়তন জলে ডুবিয়া আছে। সুতরাং $(100 - V)$ c.c আয়তন তরলে ডুবিয়া আছে। সুতরাং ভাসনের শর্ত হইতে আমরা লিখিতে পারি,

$$85 = V \times 1 + (100 - V) \times 0.8$$
$$= V + 80 - 0.8V$$

or, $0.2V = 5$ $\therefore$ $V = 25$ c.c.

(6) 2 cm. বর্গের প্রস্থচ্ছেদযুক্ত একটি সুষম কাঠের দণ্ডের দৈর্ঘ্য 20 cm এবং উহার একপ্রান্তে 1 c c সীসা আটকানো আছে। দণ্ডটিকে জলে ভাসাইলে দৈর্ঘ্যের 7.4 cm. জলের বাহিরে থাকিয়া দণ্ডটি জলে স্থির হইয়া ভাসিতে থাকে। সীসার ঘনত্ব 11.4 gms/c.c হইলে কাঠের কত ?

[A uniform rod of wood, 2 cm. square and 20 cm. long has 1 c.c. of lead of density 11.4 gms/c.c fixed at one end. When floated in water, the rod comes to rest with 7.4 cm of its length above the surface. Find the density of wood.]

উ। দণ্ডটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = $2 \times 2 = 4$ sq cm.

দণ্ডটির দৈর্ঘ্যের যতটা জলে নিমজ্জিত তাহা = $20 - 7.4 = 12.6$ cm.

সুতরাং অপসারিত জলের আয়তন = $4 \times 12.6 = 50.4$ c.c.

ঐ জলের ওজন = $50.4 \times 1 = 50.4$ gms. [জলের ঘনত্ব = 1gm/c c.]

ধরা যাউক, কাঠের ঘনত্ব = ρ gms/c.c.

কাজেই ঐ দণ্ডের ওজন = $4 \times 20 \times \rho = 80\rho$ gms.

সীসার ওজন = 1×11.4 gms.

দণ্ড ও সীসার মোট ওজন = $80\rho + 11.4$ gms.

অতএব, ভাসনের শর্তানুযায়ী,

$$50{\cdot}4 = 80\,\rho + 11{\cdot}4$$

or, $80\,\rho = 39$

$$\therefore\ \rho = \frac{39}{80} = 0{\cdot}48 \text{ gm/c.c.}$$

(7) 21 lbs ওজনের একটি লোহার টুকরার সহিত একগাছা সুতা আটকানো আছে। সুতাটি 20 lbs টান সহ্য করিতে পারে। সুতাটির দ্বারা লোহার টুকরাকে ঝুলাইয়া জলে নিমজ্জিত করিলে টুকরার আয়তনের কত অংশ জলে ডুবিলে সুতাটি ঠিক টান সহ্য করিতে পারিবে? লোহার ঘনত্ব $= 7{\cdot}2 \times 62{\cdot}5$ lbs/c. ft.

[A lump of iron weighing 21 lbs is tied with a piece of thread. The thread can bear a tension of 20 lbs. If the lump be put in water being suspended by the thread what volume of the lump would remain in water so that the thread may just bear the tension? Density of iron is $7{\cdot}2 \times 62{\cdot}5$ lbs/c. ft.]

উ। এস্থলে টুকরাটির আয়তনের এমন অংশ ডুবিয়া থাকিবে যাহাতে টুকরার আপাত ওজন 20 lbs হয়।

সুতরাং উহার প্রয়োজনীয় ওজন হ্রাস = 1 lb = অপসারিত জলের ওজন

$$\therefore\ \text{অপসারিত জলের আয়তন} = \frac{1}{62{\cdot}5} \text{ c. ft.}$$

[জলের ঘনত্ব = 62·5 lbs/c. ft.]

$$\text{অর্থাৎ, বস্তুর নিমজ্জিত আয়তনের পরিমাণ} = \frac{1}{62{\cdot}5} \text{ c. ft.}$$

$$\text{এখন, বস্তুর পূর্ণ আয়তন} = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব}} = \frac{21}{7{\cdot}2 \times 62{\cdot}5} \text{ c. ft.}$$

$$\text{বস্তুর নিমজ্জিত অংশের আয়তন} = \frac{1}{62{\cdot}5} \div \frac{21}{7{\cdot}2 \times 62{\cdot}5}$$

$$= \frac{7{\cdot}2}{21} = 0{\cdot}343 \text{ (প্রায়)।}$$

(8) একটি ফাঁপা গোলকের ভিতরের এবং বাহিরের ব্যাস যথাক্রমে 8 এবং 10 cms ; গোলকটি 1·5 gms/c.c. ঘনত্ব-সম্পন্ন একটি তরলে ঠিক ডুবিয়া ভাসে। গোলটির উপাদানের ঘনত্ব কত ?

[A hollow spherical ball whose internal and external radii are 8 and 10 cms. respectively is found to float in a liquid of density 1·5 gms/c.c. just fully immersed. What is the density of the material of the ball ?]

উ। গোলকের ভিতরের এবং বাহিরের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 4 এবং 5 cms.

এখন, গোলকটির বাহিরের আয়তন $=\frac{4}{3}\pi(5)^3$ c.c.

এবং ভিতরের ফাঁপা অংশের আয়তন $=\frac{4}{3}\pi(4)^3$ c.c

সুতরাং গোলকের উপাদানের আয়তন $=\frac{4}{3}\pi(5)^3-\frac{4}{3}\pi(4)^3$

$=\frac{4}{3}\pi\times 61$ c.c.

ধর, গোলকের উপাদানের ঘনত্ব $=\rho$

কাজেই, গোলকের ভর = উপাদানের আয়তন × উপাদানের ঘনত্ব

$=\frac{4}{3}\pi\times 61\times\rho$ gms

এখন, গোলকটি ঠিক ডুবিয়া ভাসে বলিয়া স্থানচ্যুত তরলের ভর

= গোলকের বাহিরের আয়তনের সমআয়তনের তরলের ভর

$=\frac{4}{3}\pi(5)^3\times 1.5$ gms

ভাসনের শর্ত হইতে আমরা জানি,

গোলকের ভর = স্থানচ্যুত তরলের ভর

অথবা, $\frac{4}{3}\pi\times 61\times\rho=\frac{4}{3}\pi(5)^3\times 1.5$

$$\therefore\quad \rho=\frac{125\times 1.5}{61}=3.07 \text{ gms/c.c. (প্রায়)}$$

(9) একটি বয়ার আয়তন 200 litres এবং উহার উপাদানের ঘনত্ব 0·95 gm/c.c., সমুদ্র-তলে আটকানো একটি হাল্কা শিকলের সাহায্যে বয়াটিকে জলের মধ্যে নিমজ্জিত অবস্থায় ধরিয়া রাখা হইয়াছে। ইহাতে শিকলের উপর কত টান পড়িতেছে ? সমুদ্রজলের ঘনত্ব = 1·02 gm/c.c.

[A buoy of volume 200 litres and density 0·95 gm/c.c. is fully immersed in sea-water of density 1·02 gm/c.c., being anchored to the sea-bottom by a light chain. What is the tension in the chain ?]

উ। স্থানচ্যুত সমুদ্রজলের আয়তন $= 200$ litres $= 200 \times 1000$ c.c.

$= 2 \times 10^5$ c.c.

ঐ জলের ওজন $= 2 \times 10^5 \times 1.02$ gm $= 204,000 = 204$ kgm.

বয়ার ওজন $= 2 \times 10^5 \times 0.95 = 190$ kgm.

কাজেই, শিকলের উপর টান $= (204 - 190) = 14$ kgm. wt.

সারাংশ

কোন বস্তু আংশিক বা পরিপূর্ণভাবে তরলে বা বায়বীয় পদার্থে নিমজ্জিত থাকিলে ইহা ঊর্ধ্বাভিমুখী ঘাত অনুভব করিবে। এই ঘাত বস্তুটি যে-আয়তনের তরল বা বায়বীয় পদার্থ স্থানচ্যুত করিবে তাহার ওজনের সমান হইবে। এই ঊর্ধ্বাভিমুখী ঘাতকে প্লবতা বলে। স্থানচ্যুত তরলের বা বায়বীয় পদার্থের ভারকেন্দ্রকে প্লবতা-কেন্দ্র বলে।

আর্কিমিডিসের নীতি :

কোন বস্তুকে তরলে বা বায়বীয় পদার্থে আংশিক অথবা পরিপূর্ণভাবে নিমজ্জিত করিলে বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস হয় এবং এই হ্রাস বস্তু যে-আয়তনের তরল অথবা বায়বীয় পদার্থ স্থানচ্যুত করে উহার ওজনের সমান।

আর্কিমিডিসের নীতির প্রয়োগ :

(i) অসম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তন নির্ণয়।

(ii) পদার্থের ঘনত্ব নির্ণয়।

(iii) পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়।

বস্তুর ভাসন ও নিমজ্জন :

যদি বস্তুর ওজন W_1 ও প্লবতা W_2 হয় তবে,

(i) বস্তু তরলের ডুবিবে যদি $W_1 > W_2$

(ii) বস্তু তরলের ভিতরে যে-কোন স্থানে থাকিবে যদি $W_1 = W_2$

(iii) বস্তু ভাসিয়া উঠিবে যদি $W_1 < W_2$

সাম্যাবস্থায় ভাসনের শর্ত :

(i) বস্তুটির এমন অংশ তরলের নিমজ্জিত থাকিবে যাহাতে অপসারিত তরলের ওজন বস্তুটির ওজনের সমান হয়।

(ii) বস্তুটির ভারকেন্দ্র ও প্লবতা-কেন্দ্র একই লম্ব রেখায় থাকিবে।

আর্কিমিডিসের নীতি গ্যাসের বেলাতেও প্রযোজ্য। ইহা বারোস্কোপ যন্ত্রের সাহায্যে প্রমাণ করা যায়।

প্রশ্নাবলী

1. আর্কিমিডিসের নীতি কি ? এই নীতির পরীক্ষা বর্ণনা কর।

[What is Archimedes' principle ? Describe its experimental verification.]
[cf. *H. S. Exam.* 1960, '62 (Comp), 1963]

2. আপাত ওজন এবং প্রকৃত ওজন বলিতে কি বোঝ ? কোন্‌টি বেশী এবং কেন ?

[What do you mean by apparent weight and real weight ? Which one is greater and why ?] [*cf. H. S. (comp) 1963*]

3. আর্কিমিডিসের নীতি প্রয়োগ করিয়া কোন অসম আকৃতির বস্তুর আয়তন ও ঘনত্ব কিরূপে নির্ণয় করিবে ?

[How would you determine the volume and density of a body of irregular shape by applying Archimedes' principle ?] [*H. S. Exam.*, 1960]

4. একটি বস্তুর আয়তন 36 c. c., বস্তুটি উহার আয়তনের $\frac{3}{4}$ অংশ জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসিতে পারে। বস্তুটির ওজন ও ঘনত্ব কত ?

[The volume of a body is 36 c. c. and it can float in water with $\frac{3}{4}$th of its volume immersed. What are the weight and density of the body ?
[Ans. 27 gms ; 0·75 gm/c. c.]

5. একখণ্ড কাঠের টুকরার দৈর্ঘ্য 5 cm, প্রস্থ 4 cm এবং উচ্চতা 3 cm. যদি টুকরাটি উচ্চতার 2·5 cm জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসে তবে উহার ওজন এবং ঘনত্ব কত ?

[A piece of wood is 5 cm long, 4 cm broad and 3 cm high. If it floats in water with 2·5 cm of its height immersed, what will be the weight and density of the piece ?] [Ans. 50 gms ; 0·83 gm/c. c.]

6. 1000 litres আয়তনযুক্ত এবং 950 kgm ওজনের একটি বয়াকে সমুদ্রতলে আটকানো একটি শিকলের সাহায্যে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় রাখা আছে। সমুদ্রজলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·02 হইলে শিকলের উপর কত টান পড়িতেছে নির্ণয় কর। শিকলের ওজন উপেক্ষণীয়।

[A buoy of volume 1000 litres and weighing 950 kgm is fully immersed in sea-water of sp. gravity 1·02, being anchored to the sea-bottom by a chain. What is the tension on the chain ? Ignore the weight of the chain.]
[*H. S. (comp)* 1963] [Ans. 70 kgm. wt]

7. একটি বস্তু নিজ আয়তনের $\frac{1}{6}$ অংশ জলের বাহির রাখিয়া ভাসিতে পারে। ঐ বস্তুটিকে 1·2 gms/c. c. ঘনত্বসম্পন্ন অন্য একটি তরলে ভাসাইলে উহার আয়তনের কত অংশ ঐ তরলের বাহিরে থাকিবে ?

[A substance can float in water with $\frac{1}{6}$th of its volume projecting. What portion of its volume will project if it floats in another liquid of density 1·2 gms/c.c.] [Ans. $\frac{11}{36}$]

8. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর পরিষ্কার করিয়া বুঝাইয়া দাও :—

(a) একটি ভারী পাথরকে জলের ভিতর সহজে সরানো যায় কেন ?

(b) নদীর জলে সাঁতার কাটার চাইতে সমুদ্র-জলে সাঁতার কাটা সহজ কেন ?

(c) সমুদ্র-জল হইতে নদী-জলে আসিলে জাহাজ বেশী ডোবে কেন ?

(d) লৌহখণ্ড জলে ডোবে কিন্তু লোহার তৈরী জাহাজ জলে ভাসে কেন ?

(e) বিশুদ্ধ জলে ডিম ডোবে কিন্তু তীব্র লবণাক্ত জলে ভাসে কেন ?

(f) খেলনার বেলুন হাইড্রোজেন ভর্তি করিলে ছাদে গিয়া ঠেকে, কিন্তু কার্বন ডাই-অক্সাইড ভর্তি করিলে মেঝেতে পড়িয়া থাকে কেন ?

(g) প্লিম্‌সল্ রেখাগুলিতে সমুদ্রজল এবং বিশুদ্ধ জলের জন্য ভিন্ন ভিন্ন দাগ থাকে কেন ?

[Answer the following questions carefully :—

(a) Why is it easier to lift a heavy stone under water ?

(b) Why is it easier to swim in sea-water than in river-water ?

(c) Why does a ship sink lower into water when it sails from sea into river ?

(d) Why does a lump of iron sink while a ship made of iron floats in water ?

(e) Why does an egg sink in pure water but floats in a strong solution of salt ?

(f) Why toy balloons, if filled with hydrogen, would rise to the ceiling, but if filled with carbon dioxide would sink to the floor ?

(g) Why in Plimsoll mark there are different lines for loading in sea water and in fresh water ?]

9. ভাসন ও নিমজ্জনের শর্তগুলি বুঝাইয়া দাও। স্থির হইয়া ভাসিতে গেলে বস্তুটির কি করা প্রয়োজন ?

[Explain the conditions of floatation and immersion. What should a body do to float at rest in a liquid ?]

10. কার্টেসীয় ডাইভার বর্ণনা কর ও উহার কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। ইহার কার্যনীতির কোন আধুনিক প্রয়োগ তোমার জানা আছে ?

[Describe the 'Cartesian diver' and explain how it acts. Do you know of any modern appliance which is based on this principle ?]

11. একটি বস্তুর বায়ুতে ওজন 35 gms, কিন্তু জলে ওজন 28 gms ; বস্তুটির ঘনত্ব কত ?

[A body weighs 25 gms in air and 28 gms in water. What is its density ?] [Ans. 5 gms/c.c.]

12. একটি আয়তাকার কাঠের ফলক দৈর্ঘ্যে 4 ft, প্রস্থে 4 ft এবং উচ্চতায় 18 inches উহার ওজন 600 lbs ; সমুদ্র-জলের ঘনত্ব 65 lbs/c ft হইলে প্রমাণ কর যে ফলকটি সমুদ্র-জলে ভাসিবে। ন্যূনতম কত ওজন ফলকের উপর চাপাইলে উহা ঠিক ডুবিয়া যাইবে ?

[A rectangular wooden slab is 4 ft long, 4 ft broad and 18 inches high. It weighs 600 lbs. Density of sea-water being 65 lbs/c. ft. ; prove that the slab will float in sea water. What is the minimum weight to be placed on the slab so that it just sinks ?] [Ans. 960 lbs.]

13. একটি তুলাদণ্ডের দুইপ্রান্ত হইতে দুইটি বস্তুকে ঝুলাইয়া জলে নিমজ্জিত করিলে অনুভূমিক থাকে। একটির ওজন 32 gms ও ঘনত্ব 8 gms/c c.; অপরটির ঘনত্ব 5 gms/c.c হইলে উহার ওজন কত?

[The beam of a balance remains horizontal when two bodies suspended from the ends are kept immersed in water. The mass of one of them is 32 gms and density is 8 gms/c c. The density of the other being 5 gms/c. c., what is its mass ?] [Ans. 35 gms.]

14. 0·9 gm/c c ঘনত্বযুক্ত একখণ্ড কাঠ এবং 2·7 gms/c.c ঘনত্বযুক্ত ও 10 gms ওজনের এক টুকরা অ্যালুমিনিয়াম এক সঙ্গে বাঁধিয়া দেখা যায় যে উহারা জলে ঠিক ডুবিয়া ভাসিতে পারে। কাঠের টুকরার আয়তন নির্ণয় কর।

[A piece of wood (density = 0·9 gm/c. c.) and a piece of aluminium (density = 2·7 gms/c. c.) weighing 10 gms. when tied together are found to float just immersed in water. Calculate the volume of the piece of wood.] [Ans. 63 c c.]

15. একটি কাঠের ঘনকের প্রত্যেক পাশের দৈর্ঘ্য 4 cm এবং উহার ওজন 48 gm; গ্লিসারিনে ঐ ঘনকটি ভাসাইলে ঘনকটির উপরিস্থ অনুভূমিক তল তরলের তল হইতে 1·6 cm ঊর্ধ্বে থাকে। গ্লিসারিনের ঘনত্ব নির্ণয় কর।

[A cube of wood whose edge is 4 cm. weighs 48 gms. When this cube is floated in glycerine, it is found that upper horizontal face is 1·6 cm. above the surface. Find the density of glycerine.] [Ans. 1·25 gm/c.c.]

16. একটি ফাঁপা গোলকের ভিতরের ব্যাস 10 cm. এবং বাহিরের ব্যাস 12 cm 1·2 gm/c. c. ঘনত্ব-সম্পন্ন কোন তরলে গোলকটি ঠিক ডুবিয়া ভাসে। গোলকটির উপাদানের ঘনত্ব নির্ণয় কর।

[A hollow sphere has an internal and external diameter of 10 cm. and 12 cm. respectively. It floats in a liquid of density 1·2 gms/c. c. just fully immersed. Determine the density of the material of the sphere.]

[Ans. 2·84 gms/c. c.]

17. খাড়া দেওয়ালবিশিষ্ট একটি পন্টুনের ভূমি আয়তাকার (500 ft × 10 ft)। পন্টুনে এমন মাল বোঝাই করা আছে যে পন্টুনের ভূমি 5 ft গভীরে ডুবিয়া আছে এবং 4·54 ft জলের বাহিরে আছে। তখন পন্টুনে ছিদ্র হওয়ায় জল ঢুকিতে লাগিল। প্রতি মিনিটে 100 gallons জল ঢুকিলে কতক্ষণ পরে পন্টুনটি জলে ডুবিয়া যাইবে?

[A pontoon with perpendicular sides has a rectangular base 500 ft by 10 ft. It is loaded so that the base is submerged to a depth of 5 ft and 4·54 ft. of the pontoon remains above water. It commences to leak taking 100 gallons of water per minute. How long will it be before it sinks ?

1 c. ft = $\frac{28 \cdot 81}{4 \cdot 54}$ gallons] [Ans. 28½ hrs. (প্রায়)]

18. আর্কিমিডিসের নীতি কি গ্যাসের বেলায় প্রযোজ্য? পরীক্ষা দ্বারা ব্যাখ্যা কর। 'এক পাউণ্ড তুলা এক পাউণ্ড সীসা অপেক্ষা বেশী ভারী'—এই উক্তির যথার্থতা বুঝাইয়া দাও।

[Is Archimedes' principle applicable to gases? Explain with suitable experiment. 'A pound of cotton is heavier than a pound of lead'—justify this statement.] [*H. S (Comp) 1962*]

19. পিতল নির্মিত বাটখারার সাহায্যে একটি সূক্ষ্ম তুলাযন্ত্রে এক টুকরা দস্তা ওজন করিয়া দেখা গেল যে প্রাপ্ত-ওজন টুকরাটির প্রকৃত-ওজন অপেক্ষা কম হইতেছে; অথচ অ্যালুমিনিয়াম নির্মিত বাটখারার সাহায্যে ওজন করিলে দেখা যায় প্রাপ্ত-ওজন প্রকৃত-ওজন অপেক্ষা বেশী হইতেছে। এরূপ হইবার কারণ কি? (দস্তার ঘনত্ব=7·2; পিতলের ঘনত্ব=8·5; অ্যালুমিনিয়ামের ঘনত্ব=2·6 gms/c c)

[A piece of zinc, when weighed on a sensitive balance, appears to weigh less than its true weight if brass weights are used, but more than its true weight if aluminium weights are used. Why does it happen? Densities: zinc=7·2; brass=8·5; aluminium=2·6 gms/c c]

[Objective Type Questions]

20. নিম্নের শূন্যস্থানগুলি পূর্ণ কর:—

(i) কোন বস্তু একটি তরলে আংশিক অথবা সম্পূর্ণভাবে—নিমজ্জিত হইলে ঊর্ধ্বমুখী—অনুভব করে।

(ii) তরলের এই ঊর্ধ্বমুখী চাপকে—বলে।

(iii) বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্রকে—বলে।

(iv) কোন বস্তু তরলে ভাসিলে বস্তুটির এমন অংশ তরলে—থাকে যাহাতে অপসারিত তরলের ওজন বস্তুটির ওজনের—হয়।

(v) বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব তরলের ঘনত্ব অপেক্ষা—হইলে ঐ বস্তু তরলে ডুবিয়া যাইবে।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

আপেক্ষিক গুরুত্ব ও উহার নির্ণয়

[Specific gravity and its determination]

4-1. আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific gravity) :

সম-আয়তনের বিভিন্ন দ্রব্য বিভিন্ন রকমের ভারী। যেমন, এক ঘন সেন্টিমিটার সোনা এক ঘন সেন্টিমিটার তামা অপেক্ষা ভারী। জলকে নির্দিষ্ট মান (standard) ধরিয়া সম-আয়তন জল অপেক্ষা কোন্ বস্তু কতগুণ ভারী তাহা দ্বারাই ঐ বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক গুরুত্ব বুঝানো হয়। যথা, সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19.32—ইহার অর্থ এই যে, একখণ্ড সোনা সম-আয়তন জল অপেক্ষা 19.32 গুণ ভারী।

কাজেই 'S' যদি কোন পদার্থের (কঠিন বা তরল) আপেক্ষিক গুরুত্ব ধরিয়া লওয়া যায় তবে,

$$S = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

[**দ্রষ্টব্য :** জলের ঘনত্ব তাপমাত্রার সহিত পরিবর্তিত হয়। দেখা গিয়াছে যে 4° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী। আপেক্ষিক গুরুত্ব বিচারে সম-আয়তন জলের 4° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় যে ওজন তাহাই ধরা হয়। কিন্তু খুব সূক্ষ্ম মাপের প্রয়োজন না হইলে তাপ-মাত্রার উল্লেখের বিশেষ প্রয়োজন থাকে না।]

আপেক্ষিক গুরুত্বের উপরোক্ত সংজ্ঞায় বস্তুটির যে কোন আয়তন লইলেই চলে। ধরা যাউক, বস্তুটির একক (unit) আয়তন লওয়া হইল। অতএব,

$$S = \frac{\text{একক আয়তন বস্তুর ওজন}}{\text{একক আয়তন জলের ওজন}}$$

কিন্তু একক আয়তনের ওজনকে পদার্থের ঘনত্ব বলে। সুতরাং,

$$S = \frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}$$

পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব দুইটি ঘনত্বের ভাগফল হওয়ায়, **আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি সংখ্যামাত্র।** ইহার কোন একক (unit) নাই। কখন কখন ইহাকে আপেক্ষিক ঘনত্বও (relative density) বলা হয়।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব 1 gm/c.c. কাজেই এই পদ্ধতিতে $S = \frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{1}$; অর্থাৎ, এই পদ্ধতিতে পদার্থের ঘনত্বের ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মান একই। কিন্তু এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব 62·5 lbs/c. ft.

$$\text{সুতরাং } S = \frac{\text{এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে পদার্থের ঘনত্ব}}{62 \cdot 5}$$

অথবা, $S \times 62 \cdot 5 =$ পদার্থের ঘনত্ব (এফ. পি. এস্ পদ্ধতিতে)

[**আপেক্ষিক গুরুত্বের তাপমাত্রা সংশোধন** (Temperature correction of specific gravity) ঃ

পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে যে পদার্থের ত্রুটিহীন আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে 4°C তাপমাত্রায় সম-আয়তনের জল লইয়া পরীক্ষা করিতে হইবে। কিন্তু পরীক্ষা-কার্য চালাইবার সময় জলের তাপমাত্রা ভিন্ন থাকে। সুতরাং প্রশ্ন হইল ইহা হইতে কিরূপে নির্ভুলভাবে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যাইবে? ইহার জন্য প্রয়োজনীয় সংশোধন করিতে হইবে। এই তাপমাত্রা সংশোধন নিম্নলিখিতরূপে করা যাইবে। মনে কর, পরীক্ষার সময় জলের তাপমাত্রা t°C.

এখন পদার্থের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব 'S' হইলে, আমরা জানি,

$$S = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{4°C তাপমাত্রায় সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

এই সমীকরণকে নিম্নলিখিতভাবে ঘুরাইয়া লেখা যায়,

$$S = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{t\text{°C তাপমাত্রায় সম-আয়তন জলের ওজন}} \times \frac{t\text{°C তাপমাত্রায় ঐ জলের ওজন}}{\text{4°C ,, ,, ,, ,,}}$$

উপরোক্ত সমীকরণের ডানদিকের প্রথম অংশ পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় পদার্থের নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং দ্বিতীয় অংশ t°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব। অতএব,

$$S = \text{নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব} \times t\text{°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব।}$$

বিভিন্ন তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব কত হয় তাহার একটি তালিকা (table) আছে। কাজেই ঐ তালিকা হইতে পরীক্ষাকারের সময়কার তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব জানিয়া উহা দ্বারা নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্বকে গুণ করিলে পদার্থের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যাইবে।]

4 2. আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের তফাৎ (Difference between sp. gravity and density).

(1) আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি সংখ্যামাত্র এবং ইহার কোন একক নাই, কিন্তু ঘনত্ব তাহা নয়। ঘনত্বের নির্দিষ্ট একক আছে।

(2) সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে ঘনত্বের মান ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মান সমান। যেমন, সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19 হইলে সোনার ঘনত্ব 19 gms/c.c.

(3) এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্বের মান এবং আপেক্ষিক গুরুত্বের মান সমান নয়। আপেক্ষিক গুরুত্বকে 62 5 দিয়া গুণ করিলে ঘনত্ব পাওয়া যায়। যেমন, সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19 কিন্তু এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে সোনার ঘনত্ব $=19\times 62\ 5$ lbs , c. ft.

4-3. আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Practical determination of specific gravity) :

কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিবার বিভিন্ন উপায় আছে। এই উপায়গুলি নিম্নরূপ :

(1) উদস্থৈতিক তুলা (Hydrostatic balance) দ্বারা,

(2) ভাসন পদ্ধতি (Floatation method) দ্বারা,

(3) হাইড্রোমিটার দ্বারা,

(4) আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল (S. G. bottle) দ্বারা,

(5) হেয়ার যন্ত্র দ্বারা।

4-4. উদস্থৈতিক তুলাদ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় :

(1) কঠিন পদার্থ যখন জল অপেক্ষা ভারী এবং জলে দ্রবণীয় নয়, যথা—লোহা, পাথর ইত্যাদি (Solid heavier than and insoluble in water) :

সুবিধামত একটি বস্তু লও এবং তুলাদ্বারা বস্তুটির বায়ুতে ওজন বাহির কর। ধর, এই ওজন W_1। চিত্রে (চিত্র 48) যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ জলে ডুবাইয়া বস্তুর ওজন বাহির কর। ধর, এই ওজন W_2.

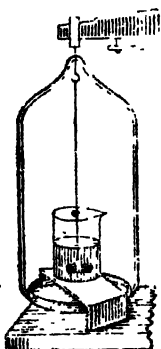
চিত্র 48

আর্কিমিডিসের নীতি অনুযায়ী,

$W_1 - W_2 =$ অপসারিত সম-আয়তন জলের ওজন।

সুতরাং, কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$S=\frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম আয়তন জলের ওজন}}$$

$$=\frac{W_1}{W_1-W_2}$$

(2) **কঠিন পদার্থ যখন জলে দ্রবণীয়**; যথা—ফটকিরি, মিছরি, ইত্যাদি।

এস্থলে এমন একটি তরল পদার্থ লইতে হইবে যাহাতে কঠিন পদার্থটি দ্রবণীয় নয়। যেমন, ফটকিরির বেলাতে কেরোসিন তেল লইলে চলিবে।

সুবিধামত বস্তুর একটি খণ্ড লও এবং বায়ুতে উহার ওজন বাহির কর। ধর এই ওজন W_1. অতঃপর 4ক নং চিত্রের মত ব্যবস্থা করিয়া বস্তুকে তরলে নিমজ্জিত করিয়া ওজন বাহির কর। ধর, এই ওজন W_2.

সুতরাং, দ্রবের তুলনায় বস্তুটির উপাদানের আপেক্ষিক ঘনত্ব (relative density)—

$$S_2 = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

যদি কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব S হয় এবং দ্রবের আপেক্ষিক S_1 হয় তবে,

$$S = S_2 \times S_1 = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \times S_1$$

[কারণ $S = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$

$= \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন দ্রবের ওজন}} \times \frac{\text{সম-আয়তন দ্রবের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$

= দ্রবের তুলনায় বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব × দ্রবের আপেক্ষিক গুরুত্ব

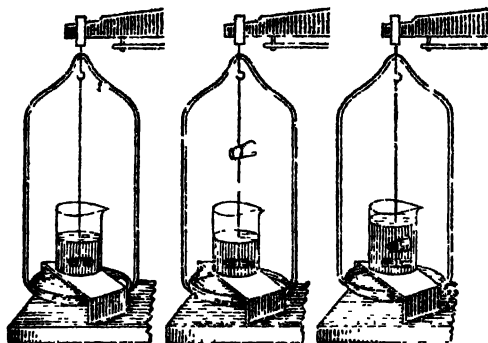
$= S_2 \times S_1$]

(3) **কঠিন পদার্থ জলে দ্রবণীয় নয় কিন্তু জল অপেক্ষা হাল্কা**. যথা—কর্ক, মোম ইত্যাদি।

সুবিধামত বস্তুর একটি টুক্‌রা লও।

জলের চাইতে হাল্কা হওয়াতে বস্তুকে জলে পূর্ণ নিমজ্জিত করিবার জন্য একটি ভারী বস্তুর সাহায্য লইতে হইবে। ইহাকে নিমজ্জক (sinker) বলে। এক খণ্ড লোহার টুক্‌রা হইলেই চলিবে।

প্রথমে লোহার টুক্‌রাটিকে জলে নিমজ্জিত করিয়া ওজন লও [4খ (1 নং চিত্র)। ধর, এই ওজন W_1.

তারপর এই নিমজ্জককে এবং বস্তুকে এমনভাবে তুলাদণ্ড হইতে ঝুলাও যে বস্তুটি বায়ুতে থাকে কিন্তু নিমজ্জকটি জলে ডুবিয়া থাকে [4খ (ii) চিত্র]। এই অবস্থায় উহাদের ওজন বাহির কর এবং ধরা যাউক, ইহা W_2.

(i) (ii) (iii)

চিত্র 4খ

পরে নিমজ্জক ও বস্তুটি একসঙ্গে সুতায় বাঁধিয়া জলে ডুবাইয়া ওজন বাহির কর [চিত্র 4খ (iii)]। ধর, এই ওজন W_3.

সুতরাং, লেখা যাইতে পারে

জলে নিমজ্জকের ওজন $= W_1$

নিমজ্জক জলে ও বস্তু বায়ুতে রাখিয়া ওজন $= W_2$

নিমজ্জক ও বস্তু উভয়কে জলে রাখিয়া ওজন $= W_3$

সুতরাং $W_2 - W_1 =$ বস্তুর বায়ুতে ওজন

এবং $W_2 - W_3 =$ বস্তুর বায়ুতে ওজন − বস্তু জলে ডুবাইলে ওজন

= বস্তুর সম-আয়তনের জলের ওজন।

সুতরাং, কঠিন বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = \dfrac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3}$

(4) তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ঃ

এক্ষেত্রে এমন একটি কঠিন পদার্থ লইতে হইবে যাহা জলে এবং উক্ত তরলে দ্রবণীয় নয় এবং জল ও উক্ত তরল পদার্থ অপেক্ষা ভারী।

ধরা যাউক, বস্তুটির বায়ুতে ওজন $= W_1$

,, জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন $= W_2$

,, তরলে ,, ,, ,, $= W_3$

সুতরাং অপসারিত জলের ওজন $= W_1 - W_2$

এবং „ তরলের „ $= W_1 - W_3$

যেহেতু একই বস্তু জলে ও তরলে ডুবানো হইল কাজেই অপসারিত জল ও তরলের আয়তন সমান, কারণ প্রত্যেকেই বস্তুর আয়তনের সমান।

সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = \dfrac{\text{তরলের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$

$$= \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2}$$

উদাহরণ :

(1) একটি ধাতব বস্তুর বায়ুতে ওজন 35 gms এবং জলে পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন 30 gms. ঐ ধাতুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

[A metallic substance weighs 35 gms in air and 30 gms in water. What is the specific gravity of the metal ?]

উ। অপসারিত সম আয়তন জলের ওজন $= 35 - 30 = 5$ gms.

সুতরাং, ধাতুর আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$

$$= \frac{35}{5} = 7$$

(2) একখণ্ড কর্কের বায়ুতে ওজন 2 gms. একটি নিমজ্জকের জলে ওজন 50 gms. যখন নিমজ্জক ও কর্কটি একসঙ্গে জলে ডুবাইয়া ওজন করা হইল তখন দেখা গেল উহা 44 gms কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A piece of cork weighs 2 gms. in air and a piece of sinker weighs 50 gms. in water. When the substance and the sinker are weighed together in water, it was 44 gms. Find the sp. gravity of cork.]

উ। নিমজ্জকের জলে ওজন (W_1) $= 50$ gms.

নিমজ্জক জলে + কর্ক বায়ুতে এই অবস্থায় ওজন (W_2) $= 2 + 50$

$= 52$ gms.

„ „ + কর্ক জলে „ „ „ (W_3) $= 44$ gms.

সুতরাং কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3}$

$$= \frac{52 - 50}{52 - 44} = \frac{2}{8} = 25$$

(3) একটি বস্তুর বায়ুতে ওজন 36 gms. কিন্তু কোন তরলে ডুবাইলে ওজন হয় 31·96 gms. তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·26 হইলে বস্তুটির উপাদানের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A body weighs 36 gms. in air but weighs 31·96 gms. in a liquid. If the sp. gravity of the liquid be 1·26, what is the sp. gravity of the substance ?]

উ। বস্তুর বায়ুতে ওজন $(W_1) = 36$ gms.

„ তরলে „ $(W_2) = 31 \cdot 96$ gms

সুতরাং, তরলের তুলনায় বস্তুটির উপাদানর আপেক্ষিক ঘনত্ব $S_2 = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$

$$= \frac{36}{36 - 31 \cdot 96}$$

$$= \frac{36}{4 \cdot 04} = \frac{9}{1 \cdot 01}$$

সুতরাং, পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= S_2 \times$ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{9}{1 \cdot 01} \times 1 \cdot 26 = 11 \cdot 2$$

(4) একটি বস্তুর বায়ুতে ওজন 7·55 gms., জলে ওজন 5·15 gms. ও কোন তরলে ওজন 6·35 gms তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

[A body weighs 7·55 gms in air. 5·15 gms in water and 6·35 gms in a liquid. Calculate the sp. gravity of the liquid.]

উ। অপসারিত জলের ওজন $= 7 \cdot 55 - 5 \cdot 15$

$= 2 \cdot 4$ gms.

অপসারিত তরলের ওজন $= 7 \cdot 55 - 6 \cdot 35$

$= 1 \cdot 2$ gms.

সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{\text{তরলের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}} = \frac{1 \cdot 2}{2 \cdot 4} = \cdot 5$

(5) একটি সীসার বল ফাঁপা সন্দেহ হয়। বায়ুতে উহার ওজন 228 gms, এবং জলে ওজন 207 gms. সীসার আপেক্ষিক গুরুত্ব 11·4 হইলে বলটির ফাঁপা অংশের আয়তন কত ?

[A lead sphere appears to be hollow It weighs 228 gms in air and 207 gms in water. If the sp. gravity of lead be 11·4, find the volume of the hollow portion of the sphere.]

উ। বলটির সীসা অংশের আয়তন $= \dfrac{\text{উহার ওজন}}{\text{উহার আঃ গুঃ}} = \dfrac{228}{11 \cdot 4} = 20$ c. c.

জলে বলটির ওজনের আপাত-হ্রাস $= 228 - 207 = 21$ gms.

সুতরাং, অপসারিত জলের আয়তন $= 21$ c. c.

অর্থাৎ, বলটির বাহিরের আয়তন $= 21$ c. c.

সুতরাং বলটির ফাঁপা অংশের আয়তন $= (21 - 20) = 1$ c. c.

4-5. ভাসন-পদ্ধতির দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Determination of sp. gravity by floatation method) :

এই পদ্ধতির দ্বারা নির্দিষ্ট আকারের, যথা, ঘনক (cube), চোঙ (cylinder) বা আয়তাকার ব্লক (parallelepiped) ইত্যাদি পদার্থ যাহা জল অপেক্ষা হাল্কা এবং জলে অদ্রাব্য তাহাদের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়। এই পদ্ধতির সুবিধা এই যে ইহাতে তুলাযন্ত্রের প্রয়োজন নাই।

মনে কর, কাঠের একটি আয়তাকার ব্লক লওয়া হইল যাহার ক্ষেত্রফল A sq. cm এবং উচ্চতা H cm, সুতরাং ব্লকটির আয়তন $= A \times H$ c.c.

ব্লকটিকে জলে ছাড়িয়া দিলে উহা ভাসিবে। ধরা যাউক উহার উচ্চতার যে অংশ জলে নিমজ্জিত হইল তাহা x cm.

সুতরাং নিমজ্জিত অংশের আয়তন $= A \times x$ c.c.

= অপসারিত জলের আয়তন

কাজেই, অপসারিত জলের ওজন $= A \times x$ gms

= ব্লকটির ওজন

[ভাসনের শর্ত হইতে]

[জলের ঘনত্ব $= 1$ gm/c.c.]

∴ কাঠের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$= \dfrac{\text{ব্লকের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$

$= \dfrac{A \times x}{A \times H} = \dfrac{x}{H}$

ভাসন পদ্ধতি দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

চিত্র [illegible]

পরীক্ষা ঃ একটি বড় মুখ-ওয়ালা কাচপাত্রের অর্ধেক জল-ভর্তি কর এবং উহাতে কাঠের ব্লকটি ভাসাও। পাত্রের মুখে আড়াআড়ি

করিয়া একখানি পাতলা ও সরু কাঠের টুকরা রাখ (চিত্র 4গ)। এইবার একটি মিলিমিটার স্কেলের একপ্রান্তে একটি আলপিন আঁঠা বা মোম দিয়া জুড়িয়া দাও এবং স্কেলটিকে টুকরার গা ঘেঁষিয়া এমনভাবে ধর যাহাতে পিনের অগ্রভাগ ঠিক জলতল স্পর্শ করে। এই অবস্থায় কাঠের টুকরা পর্যন্ত স্কেল পাঠ কর। এইবার স্কেলটিকে এমনভাবে ধর যাহাতে পিনের অগ্রভাগ কাঠের ব্লকটির উপরতল স্পর্শ করে এবং ঐই অবস্থায় পুনরায় টুকরা পর্যন্ত স্কেল পাঠ কর। এই দুই পাঠের বিয়োগফল ধর, 'h'-এর সমান। এখন ব্লকটিকে জল হইতে তুলিয়া আনিয়া স্কেলের সাহায্যে উহার উচ্চতা 'H' নির্ণয় কর। সুতরাং $x = H - h$.

কাজেই, কাঠের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{x}{H} = \frac{H-h}{H}$

উদাহরণ : একটি সর্বত্র সমান প্রস্থচ্ছেদযুক্ত কাঠের চোঙ 15 cm. লম্বা। উহাকে জলে ভাসাইলে উহার উচ্চতার 3 cm. জলের বাহিরে থাকে। কাঠের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A wooden cylinder of uniform cross-section is 15 cm long. It floats in water with 3 cm. of its length projecting. What is the sp. gravity of wood ?]

উ। এস্থলে $h = 3$ cm , এবং $H = 15$ cm.

সুতরাং কাঠের আঃ গুঃ $= \frac{H-h}{H} = \frac{15-3}{15} = \frac{12}{15} = 0.8.$

4-6. হাইড্রোমিটার দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Determination of sp. gravity by Nicholson's hydrometer) :

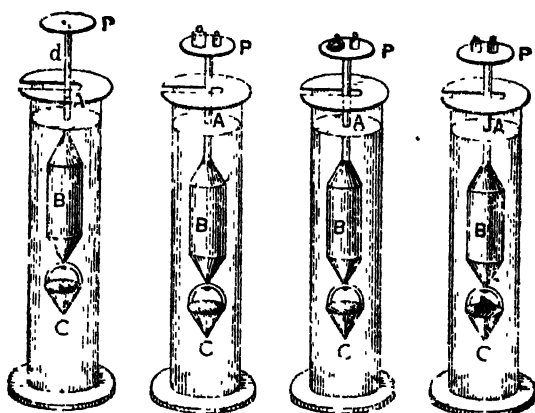
হাইড্রোমিটার দুই প্রকারের। (1) নিকলসন হাইড্রোমিটার ও (2) সাধারণ হাইড্রোমিটার :

নিকলসন হাইড্রোমিটারের বিবরণ :

B একটি পাতলা ধাতুনির্মিত চোঙ্। চোঙ্টির দুইপ্রান্ত শঙ্কু আকৃতি (conical) [পর পৃষ্ঠায় 4ঘ (i) নং চিত্র]। উপরের শঙ্কুর সহিত একটি ছোট দণ্ড d লাগানো আছে এবং দণ্ডের প্রান্তে P একটি পাত্র যাহার উপর বাটখারা, কোন কঠিন বস্তু ইত্যাদি রাখা যায়। তলার শঙ্কুর সহিত একটা ছোট বালতি (bucket) C আটকানো। এই বালতিটি পারদ অথবা সীসার দ্বারা ভর্তি করা থাকে, ইহার ফলে সমগ্র যন্ত্রটির ওজন এমন হয় যে কোন তরলে আংশিক

নিমজ্জিত অবস্থায় খাড়াভাবে ভাসিতে পারে। *d*-দণ্ডের উপর A একটি দাগ কাটা থাকে। যন্ত্রটি ব্যবহার করিবার সময় সর্বদা ইহাকে A দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে হইবে।

(1) জল হইতে ভারী ও জলে দ্রবণীয় নয় এরূপ কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব:

একটি লম্বা কাচের পাত্র জলপূর্ণ করিয়া উহার মধ্যে হাইড্রোমিটার ডুবাও। স্বাভাবিক অবস্থায় হাইড্রোমিটার জলে ভাসিবে এবং A দাগ জলের বেশ উপরেই থাকিবে [4ঘ (i) চিত্র]। প্রয়োজনমত বাট্‌খারা P পাত্রে রাখ যাহাতে হাইড্রোমিটার A-দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া যায় [চিত্র 4ঘ (ii)]। ধর, এই ওজন W_1 ; বাট্‌খারাগুলি সরাইয়া লও।

নিকলসন হাইড্রোমিটার দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

চিত্র 4ঘ

সুবিধামত পদার্থের একটি খণ্ড লও এবং P পাত্রে রাখ। এখন আবার প্রয়োজনমত বাট্‌খারা P পাত্রে দাও যাহাতে হাইড্রোমিটার পুনরায় A দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া যায় [4ঘ (iii) নং চিত্র]। ধর, এই ওজন W_2 , বস্তু এবং বাট্‌খারা আবার সরাইয়া লও।

এইবার বস্তুখণ্ডটি C বালতির উপর রাখ অর্থাৎ বস্তুকে জলে ডুবাইয়া রাখা হইল। এই অবস্থায় P পাত্রে আবার প্রয়োজনীয় বাট্‌খারা চাপাও যাহাতে

হাইড্রোমিটার পুনরায় A দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া যায় [4ঘ (iv) নং চিত্র]। ধর, এই ওজন W_3.

সুতরাং, বায়ুতে বস্তুটির ওজন $= W_1 - W_2$

জলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর ওজন $= W_1 - W_3$

অতএব, সম-আয়তন জলের ওজন $= (W_1 - W_2) - (W_1 - W_3)$

$$= W_3 - W_2$$

∴ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_1 - W_2}{W_3 - W_2}$

[দ্রষ্টব্য ঃ যদি কঠিন পদার্থটি জল অপেক্ষা হাল্‌কা হয় তবে উপরোক্ত পদ্ধতিতেই উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করা যাইবে। তবে, বস্তুটিকে যখন C-পাত্রে রাখা হইবে তখন সূতা দিয়া বাঁধিয়া দিতে হইবে নতুবা বস্তুটি ভাসিয়া উঠিবে।]

(2) তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব ঃ

প্রথমে একটি তুলার সাহায্যে হাইড্রোমিটারের ওজন নির্ণয় কর। ধর, এই ওজন W. অতঃপর হাইড্রোমিটারকে জলে ভাসাইয়া P পাত্রে প্রয়োজনীয় বাটখারা দাও যাহাতে হাইড্রোমিটার জলে A দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া যায়। ধর, এই ওজন W_1

এবার বাটখারাগুলি সরাইয়া যে-তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে তাহাতে হাইড্রোমিটার ভাসাও। প্রয়োজনীয় বাটখারা P পাত্রে রাখ যেন হাইড্রোমিটার ঐ তরলে A দাগ পর্যন্ত ডোবে। মনে কর, এই ওজন W_2.

ভাসনের শর্ত হইতে আমরা জানি,

$W + W_1 =$ অপসারিত জলের ওজন

এবং $W + W_2 =$ অপসারিত তরলের ওজন

ইহাদের আয়তন সমান। কারণ উভয়ক্ষেত্রেই হাইড্রোমিটারকে A দাগ পর্যন্ত ডুবানো হইয়াছে। সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W + W_2}{W + W_1}$

দ্বিতীয় পদ্ধতি (তুলা ব্যতিরেকে) ঃ

এমন একটি কঠিন পদার্থ লও যাহা জলে বা পরীক্ষাধীন তরলে দ্রবণীয় নয় এবং জল বা উক্ত তরল অপেক্ষা ভারী। একবার বস্তুখণ্ডটি P পাত্রে রাখিয়া

হাইড্রোমিটারকে জলে ভাসাও এবং P পাত্রে প্রয়োজনমত বাট্‌খারা রাখ যাহাতে যন্ত্রটি A দাগ পর্যন্ত জলে ডুবিয়া যায়। ধর, বাট্‌খারার ওজন W_1। এখন, বস্তুটিকে C বালতিতে রাখ এবং P পাত্রে পুনরায় প্রয়োজনীয় বাট্‌খারা দাও যাহাতে যন্ত্রটি A দাগ পর্যন্ত জলে ডোবে। এই বাট্‌খারার ওজন যদি W_2 হয়, তবে $W_2 - W_1$ = বস্তুটির ওজন হ্রাস।

= বস্তুটির সম-আয়তন জলের ওজন।

উপরোক্ত প্রক্রিয়া পরীক্ষাধীন তরলে সম্পাদিত করিলে যদি বাট্‌খারার ওজন যথাক্রমে W_3 এবং W_4 হয়, তবে $W_4 - W_3$ = তরলে বস্তুটির ওজন হ্রাস = বস্তুটির সম-আয়তন তরলের ওজন।

$\therefore$ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_4 - W_3}{W_2 - W_1}$

উদাহরণ ঃ

(1) একটি হাইড্রোমিটারকে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত জলে ডুবাইতে 60 gms. লাগে। একখণ্ড তামা হাইড্রোমিটারের উপরের পাত্রে রাখিলে 42 gms. লাগে এবং তামার খণ্ডটি নীচের পাত্রে রাখিলে 44 gms. লাগে। তামার আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A hydrometer requires 60 gms. to sink up to a mark in water. If a piece of copper is placed on the upper pan, it requires 42 gms. and when the piece is placed in the lower pan, it requires 44 gms. Find the sp. gravity of copper.]

উঃ। এস্থলে তাম্রখণ্ডটির বায়ুতে ওজন = 60 - 42

= 18 gms.

এবং জলের ওজন = 60 - 44

= 16 gms

সুতরাং, সম-আয়তন জলের ওজন = 18 − 16 = 2 gms

$\therefore$ তামার আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{18}{2} = 9$

(2) একটি হাইড্রোমিটারকে জলে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে 60·3 gms. ওজন লাগে কিন্তু অ্যাল্‌কোহলের মধ্যে ঐ নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে লাগে 6·8 gms। যদি হাইড্রোমিটারটির ওজন 200 gms হয় তবে অ্যাল্‌কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

[A hydrometer requires 60·3 gms to sink upto a mark in water and 6·8 gms to sink upto the mark in alcohol. If

the hydrometer weighs 200 gms, calculate the sp. gravity of alcohol.]

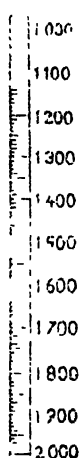
উ। এস্থলে হাইড্রোমিটার কর্তৃক অপসারিত জলের ওজন $= 200 + 60{\cdot}3$
$= 260{\cdot}3$ gms.

এবং অপসারিত অ্যাল্‌কোহলের ওজন $= 200 + 6{\cdot}8$
$= 206{\cdot}8$ gms

ইহাদের আয়তন এক হওয়ায়, অ্যালকোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{206{\cdot}8}{260{\cdot}3} = 0{\cdot}794$$

4-7. সাধারণ হাইড্রোমিটার (Common hydrometer) :

এই হাইড্রোমিটার দ্বারা কোন তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব সরাসরি মাপা যায়। 4৬ নং চিত্রে এই ধরনের একটি হাইড্রোমিটার দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি কাচের ফাঁপা চোঙ। ইহার এক প্রান্তে পারদপূর্ণ একটি কাচের কুণ্ড (bulb) ও অপর প্রান্তে একটি সর্বত্র সমব্যাসযুক্ত কাচের দণ্ড আছে। যন্ত্রটির ওজন এমন করা হয় যে ইহা তরলে খাড়াভাবে ভাসিতে পারে। উপরের দণ্ডের গায়ে একটি স্কেল অংকিত থাকে এবং এই স্কেল হইতে সরাসরি তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যায়। যে-তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে উহার ভিতর ছাড়িয়া দিলে যন্ত্রটি যে-দাগ পর্যন্ত ডুবিবে তাহাই তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব। চিত্রে যে-যন্ত্র দেখানো হইয়াছে উহার এমন করা হইয়াছে যে জলে ডুবাইলে সরু নলটির মাথা পর্যন্ত ডুবিয়া যাইবে। জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·0 বলিয়া ঐ স্থানে 1·0 দাগ কাটা আছে। অন্য কোন ভারী তরলে ডুবাইলে নলটির কিছু অংশ তরলের বাহিরে থাকিবে ও তরল যে-দাগ স্পর্শ করিবে তাহাই হইবে ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব। চিত্রে প্রদর্শিত যন্ত্র সর্বাপেক্ষা ঘন যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিতে পারিবে তাহা 2·0-এর সমান। কারণ ঐ তরলে ডুবাইলে নলটির শেষ দাগ পর্যন্ত ডুবিবে। আবার, জল অপেক্ষা লঘু

1·000
1·100
1·200
1·300
1·400
1·500
1·600
1·700
1·800
1·900
2·000

সাধারণ হাইড্রোমিটার
চিত্র 4৬

তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ঐ যন্ত্র দিয়া মাপা যাইবে না—যন্ত্রের ওজন আলাদা করিতে হইবে। এইজন্য একটি নির্দিষ্ট সাধারণ হাইড্রোমিটার দ্বারা লঘু ও ভারী সবরকম তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা সম্ভব নয়।

দুধে জল মিশানো থাকিলে তাহা এই যন্ত্র দ্বারা সহজেই বোঝা যায়। কারণ, জলমিশানো দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব খাঁটি দুধের চাইতে কম। সুতরাং জল-মিশানো দুধে যন্ত্রটি বেশী ডুবিয়া যাইবে। খাঁটি দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব (1.03) জানা থাকিলে দুধে জল মিশানো আছে কি-না তাহা সহজেই ধরা পড়িবে। এই উদ্দেশ্যে বাজারে Lactometer নামে যে-যন্ত্র বিক্রয় হয় তাহা এই প্রকার সাধারণ হাইড্রোমিটার। ইহা ছাড়া, অ্যাল্‌কোহল, অ্যাসিড প্রভৃতি তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিবার জন্যও এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়।

4-8. আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Determination of sp gravity by sp. gravity bottle):

বোতলের বিবরণ: 4চ নং চিত্রে একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল দেখানো হইল। ইহা একটি ছোট কাচের বোতল এবং ইহার মুখ ঘষা কাচের ছিপি দ্বারা শক্তভাবে আটকানো যায়। ছিপির ভিতর দিয়া একটি সরু লম্বালম্বি ছিদ্র আছে। বোতলটি কোন তরলে ভর্তি করিয়া পরে ছিপি আটিয়া দিলে অতিরিক্ত তরল এই ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া আসিবে। এই বোতলদ্বারা গুঁড়া পদার্থ বা ছোট ছোট কণা সম্বলিত কঠিন পদার্থ, যেমন,-বালি, চিনি প্রভৃতি ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপা সুবিধাজনক।

আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল
চিত্র 4চ

(1) জলে দ্রবণীয় নয় এমন কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়:

খালি বোতলটি পরিষ্কার করিয়া ধুইয়া শুকাইয়া লও এবং ওজন নির্ণয় কর। এখন যে-পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে তাহার খানিকটা বোতলে ভরিয়া ওজন কর। পরে বোতলটির বাকী অংশ জলভর্তি করিয়া ওজন কর।

এইবার বোতলের ভিতরকার জল, গুঁড়া প্রভৃতি ফেলিয়া দিয়া পুনরায় বোতলটি পরিষ্কার ও শুষ্ক কর। বোতলটি পরিপূর্ণ জলে ভর্তি করিয়া ওজন কর। ধরা যাউক,

খালি বোতলের ওজন $= W_1$

(বোতল+বস্তু)-র ওজন $= W_2$

সুতরাং, বস্তুর ওজন $= W_2 - W_1$

(বোতল+বস্তু+জল)-এর ওজন $= W_3$

অতএব, বোতলের ভিতর বস্তুর আয়তন ছাড়া বাকী যে আয়তনের জল থাকে তাহার ওজন $= W_3 - W_2$

(বোতল+পূর্ণজল) এর ওজন $= W_4$

বোতলের ভিতরের আয়তনের সম-আয়তন জলের ওজন $= W_4 - W_1$

$\therefore$ বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন $= (W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)$

কাজেই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$

(2) তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ঃ

একটি পরিষ্কার বোতল লইয়া খালি অবস্থায় ওজন কর। পরে বোতলটি জলপূর্ণ করিয়া ওজন কর। এখন জল ফেলিয়া দিয়া বোতলটি শুষ্ক করিয়া নির্দিষ্ট তরল দ্বারা ভর্তি কর এবং ওজন লও।

ধর, খালি বোতলের ওজন $= W_1$

(বোতল+জল)-এর „ $= W_2$

(বোতল+তরল) „ „ $= W_3$

সুতরাং, বোতলের অভ্যন্তরের আয়তনের সম-আয়তন

তরলের ওজন $= W_3 - W_1$

এবং ঐ আয়তনের জলের ওজন $= W_2 - W_1$

সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$

উদাহরণ ঃ

(1) একটি খালি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ওজন 15 gms. কিন্তু জলভর্তি অবস্থায় ওজন 40 gms.। বোতলটি কোন তরল দ্বারা পূর্ণ করিয়া

ওজন করা হইল এবং তাহা 44 gms হইল। তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

[An empty specific gravity bottle weighs 15 gms. ; when filled with water it weighs 40 gms., but when filled with a liquid it weighs 44 gms. Calculate the specific gravity of the liquid.]

উ। এস্থলে খালি বোতলের ওজন = 15 gms.

(বোতল + জলের) ,, = 40 gms.

সুতরাং, বোতলের আভ্যন্তরীণ আয়তনের সম-আয়তন জলের ওজন

= 40 − 15 = 25 gms.

(বোতল + তরল) এর ওজন = 44 gms.

সুতরাং. সম-আয়তন তরলের ওজন = 44 − 15 = 29 gms.

সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব = $\frac{29}{25}$ = 1.16.

(2) জলপূর্ণ একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ওজন 45 gms., উহাকে যথাক্রমে পারদ ও তুঁতে গোলা জল দ্বারা সম্পূর্ণ ভর্তি করিলে ওজন হয় 297 gms এবং 49 gms, পারদের ঘনত্ব 13.6 gms/c.c. হইলে তুঁতে গোলা জলের ঘনত্ব নির্ণয় কর।

[A specific gravity bottle completely filled with water, with mercury and with copper sulphate solution weighs respectively 45 gms., 297 gms, and 49 gms. Calculate the density of the copper sulphate solution, that of mercury being 13.6 gms/c.c.] [*H. S. Exam*, 19[illegible]]

উ। ধর, খালি বোতলের ওজন = W gms.

এবং বোতলের আভ্যন্তরীণ আয়তন = V c.c.

কাজেই, প্রথম ক্ষেত্রে $W + V.1 = 45$ [জলের ঘনত্ব = 1 gm/c.c.]

এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $W + V.13{\cdot}6 = 297$

,, তৃতীয় ক্ষেত্রে $W + V.\rho = 49$ [তুঁতে গোলা জলের ঘনত্ব = ρ gms/c.c.]

দ্বিতীয়টি হইতে প্রথমটি বিয়োগ করিলে

$$12.6 \times V = 252$$

$$\therefore \quad V = \frac{252}{12.6} = 20 \text{ c.c.}$$

তৃতীয়টি হইতে প্রথমটি বিয়োগ করিলে

$$V(\rho - 1) = 4$$

$$\therefore \quad \rho - 1 = \frac{4}{V} = \frac{4}{20}$$

$$\therefore \quad \rho = \frac{4}{20} + 1 = \frac{24}{20} = 1.2 \text{ gms/c.c.}$$

(3) 1·84 আপেক্ষিক গুরুত্বের 10 c.c. অ্যাসিডের সহিত 6 c.c. জল মিশানো হইল। ইহাতে মিশ্রণের আয়তন 0·9 c.c. কমিয়া গেল। মিশ্রণের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A mixture is made of 10 c.c. of an acid of sp. gr 1·84 and 6 c.c. of water. The contraction of volume due to mixing is found to be 0·9 c.c. Find the sp. gravity of the mixture.]

উ। অ্যাসিডের ভর = আ: গু: × আয়তন = 1·84 × 10 = 18·4 gms.

জলের ,, = ,, × ,, = 1 × 6 = 6 gms.

মিশ্রণের মোট ভর = 18·4 + 6 = 24·4 gms.

,, ,, আয়তন = (10 + 6) − ·9 = 15·1 c.c.

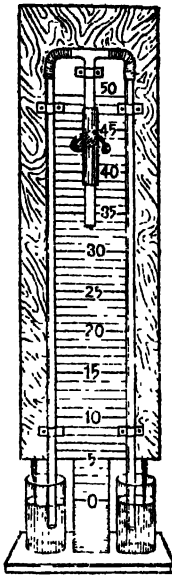
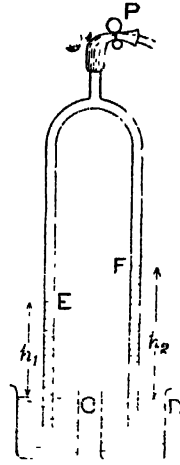
$$\therefore \text{ মিশ্রণের আ: গু:} = \frac{24.4}{15.1} = 1.61 \text{ (প্রায়)}$$

4-9. হেয়ার যন্ত্র (Hare's apparatus) :

বিবরণ : 4ছ নং চিত্রে একটি হেয়ার যন্ত্র এবং 4জ নং চিত্রে উহার একটি নকশা দেখানো হইয়াছে। একটা U-অক্ষরের মত বাঁকানো দুমুখ খোলা কাচের নল একটি কাঠের ফ্রেমের সঙ্গে খাড়াভাবে আট্‌কানো আছে। নলের দুই খোলামুখ দুইটি পাত্রের ভিতর ঢুকানো। পাত্র দুইটি দুই রকম তরলদ্বারা পূর্ণ। নলটির উপরে একটি ছোট কাচ-নল একটি রবার নলের

সহিত সংযুক্ত। একটি ক্লীপ্ P দ্বারা এই রবার নলের মুখ আটকানো

হেয়ার যন্ত্র
চিত্র 4চ

হেয়ার যন্ত্রের নকশা
চিত্র 4জ

বা খোলা যায়। নলের দুই খাড়াবাহুর পাশে একটি স্কেল কাঠের ফ্রেমের সঙ্গে আটকানো থাকে (4জ নং ছবিতে দেখানো হয় নাই)।

দুইটি তরল, যাহারা পরস্পর মিশ্রিত হয়, যেমন—তুঁতের দ্রবণ (copper sulphate solution) ও জল—তাহাদের আপেক্ষিক গুরুত্ব তুলনা বা কোন তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় এই যন্ত্রদ্বারা সম্ভব।

তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় :

U-নলের একটি খোলা মুখ বাঁদিকের জলপূর্ণ পাত্রে ডুবাও এবং অপর মুখ ডানদিকের পরীক্ষাধীন তরলপূর্ণ পাত্রে ডুবাও। এখন P-ক্লীপ খুলিয়া রবার নলে মুখ লাগাইয়া ধীরে ধীরে টান দিলে E এবং F নল হইতে খানিকটা বাতাস বাহির হইয়া যাইবে। ফলে E এবং F নল বাহিয়া জল ও তরল পদার্থ উপরে উঠিবে। জল হইতে তরল পদার্থটি হালকা হইলে তরল পদার্থের উচ্চতা জল

অপেক্ষা বেশী হইবে। এবার ক্লীপ্ আঁটিয়া দিলে উহারা নিজ নিজ স্থানে স্থির হইয়া থাকিবে।

ধরা যাউক, E এবং F পর্যন্ত যথাক্রমে জল ও তরল পদার্থ উঠিল। C এবং D, জল এবং পাত্রের অভ্যন্তরস্থ তরলের তল। ধর, CE উচ্চতা h_1 cm. এবং DF উচ্চতা h_2 cm., জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব মনে করা যাউক s_1 এবং ডান দিকের পাত্রের তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব s_2.

যদি পাত্রদ্বয়ের তরলের উপরের পৃষ্ঠে বায়ু-মণ্ডলের চাপ P ধরা যায়, এবং নলের ভিতর তরলের পৃষ্ঠে E এবং F তলে বায়ুর চাপ p ধরা হয়, (নলের ভিতরে সর্বত্র বায়ু-চাপ সমান হইবে) তবে যেহেতু h_1 এবং h_2 তরল-স্তম্ভ স্থির হইয়া দাঁড়াইয়া আছে, অতএব,

$$P = p + h_1 s_1 g$$

এবং $$P = p + h_2 s_2 g$$

$$\therefore \quad \frac{s_2}{s_1} = \frac{h_1}{h_2}$$

যেহেতু জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1, কাজেই $s_1 = 1$, অতএব

$$s_2 = \frac{h_1}{h_2} = \frac{\text{জলস্তম্ভের উচ্চতা}}{\text{তরলস্তম্ভের উচ্চতা}}$$

E এবং F নলের গায়ে লাগানো স্কেল হইতে জল ও তরলস্তম্ভের উচ্চতা সহজেই নির্ণয় করা যায়। কাজেই তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব তাহা হইতে নির্ধারণ করা যাইবে।

যদি C পাত্রে জল না লইয়া অন্য তরল পদার্থ লওয়া যায় তবে উপরোক্ত সমীকরণ হইতে তরলদ্বয়ের আপেক্ষিক গুরুত্ব তুলনা করা যাইতে পারে।

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের উপরোক্ত সমীকরণে নল দুইটির প্রস্থচ্ছেদের কোন উল্লেখ নাই। বস্তুত চাপ প্রস্থচ্ছেদের দ্বারা নির্ণীত হইবে না। অতএব নল দুইটির প্রস্থচ্ছেদ কম বা বেশী—অর্থাৎ নল দুইটি সরু বা মোটা হইতে পারে অথবা উহাদের প্রস্থচ্ছেদ অসমানও হইতে পারে। তবে প্রস্থচ্ছেদ খুব সরু হইলে কৈশিক টান (surface tension) ক্রিয়া করিবে এবং সেক্ষেত্রে উপরোক্ত সমীকরণ প্রযোজ্য হইবে নাহ্ । সাধারণত একটু মোটা এবং প্রায় সমান প্রস্থচ্ছেদের দুইটি নল লওয়া হয়।

কয়েকটি সাধারণ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের তালিকা

পদার্থ (কঠিন)	আঃ গুঃ	পদার্থ (তরল)	আঃ গুঃ
তামা	8·93	বিশুদ্ধ জল	1
সোনা	19·32	সমুদ্র জল	1·03
রূপা	10·5	পারদ	13·6
লোহা	7·2	গ্লিসারিন	1·26
সীসা	11·4	অ্যালকোহল	0·8
মার্বেল	2·6	কেরোসিন	0·8
কাচ	2·5	দুধ	1·03
বরফ	0·917	তার্পিন তেল	·87
কর্কিবি	1·70		

4-10. গ্যাসের ঘনত্ব (Density of gas) :

0°C তাপমাত্রায় এবং 76 cm পারদের চাপে 1 লিটার অর্থাৎ 1000 c.c. গ্যাসের ওজনকে উক্ত গ্যাসের ঘনত্ব বলা হয়। তাপমাত্রা বা ঘনত্ব নির্ণয়ে উপরোক্ত নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপের উল্লেখ প্রয়োজন।

কোন গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইলে একটি প্রায় 500 c.c. আয়তনের কাচের গোলক লও। গোলকের গলায় একটি প্যাঁচকল আটকাও যাহার সাহায্যে একটি বায়ু নিষ্কাশক যন্ত্রকে (exhaust pump) গোলকের সহিত যুক্ত করা যাইতে পারে। বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রের সাহায্যে গোলক বায়ুশূন্য করিয়া প্যাঁচকল আটকাও এবং যন্ত্রটি খুলিয়া লও। এইবার বায়ুশূন্য গোলকটির ওজন লও। ধর, এই ওজন W_1 gms.। অতঃপর গোলকটি পরীক্ষাধীন গ্যাসদ্বারা পূর্ণ করিয়া ওজন লও। ধর, এই ওজন W_2 gms.। সুতরাং গোলকের ভিতরস্থ গ্যাসের ওজন $= W_2 - W_1 = W$ (ধর) gms.।

যদি গোলকের আয়তন V c.c. হয় তবে ঐ সময়ের তাপমাত্রায় ও বায়ুচাপে উক্ত গ্যাসের ঘনত্ব $D = \frac{W}{V}$

সারাংশ

আপেক্ষিক গুরুত্ব :

জলকে নির্দিষ্ট মান ধরিয়া সম-আয়তন জলের চাইতে কোন্ দ্রব্য কতটা ভারী তাহাই সেই দ্রব্যের আপেক্ষিক গুরুত্ব। সুতরাং,

$$S = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

আপেক্ষিক গুরুত্ব শুধু একটি সংখ্যামাত্র। ইহার কোন একক নাই।

সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে আপেক্ষিক গুরুত্বের ও ঘনত্বের মান একই। কিন্তু এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্ব $= 62.5 \times$ আপেক্ষিক গুরুত্ব।

আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের বিভিন্ন পদ্ধতি :

(1) উদস্থৈতিক তুলা দ্বারা, (2) ভাসন পদ্ধতি দ্বারা, (3) হাইড্রোমিটার দ্বারা, (4) আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল দ্বারা এবং (5) হেয়ারের যন্ত্র দ্বারা।

প্রশ্নাবলী

1. 'আপেক্ষিক গুরুত্ব' কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। প্রমাণ কর, সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে আপেক্ষিক গুরুত্বের ও ঘনত্বের মান সমান।

[Explain what you mean by 'specific gravity'. Prove that in C. G. S. system, specific gravity and density are numerically equal]

[*H. S. (Comp.) 1960*]

2. আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের পার্থক্য কি ?

[What is the difference between specific gravity and density ?]

[*H. S. (Comp), 1960*]

3. জল অপেক্ষা হালকা কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব কিরূপে নির্ণয় করিবে ?

[How would you determine the specific gravity of a substance lighter than water ?] [*H. S. (Comp), 1962*]

4. সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19·3 হইলে সি. জি. এস্ এবং এফ. পি এস্. পদ্ধতিতে সোনার ঘনত্ব কত ?

[If the sp. gravity of gold be 19·3, what will be its density in the C. G. S and F. P. S. systems ?] [*H. S (Comp), 1962*]

[Ans. 19·3 gms/c.c. ; 19·3 × 62·5 lbs/c. ft.]

5. একটি বস্তুর বায়ুতে ওজন 120 gms, কিন্তু জলে ওজন 90 gms এবং কোন তরলে ওজন 78 gms ; তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A substance weighs 120 gms in air, 90 gms in water and 78 gms in a certain liquid. What is the specific gravity of the liquid ?] [Ans. 1·4]

6. একখণ্ড কাঠের বায়ুতে ওজন 74 gms ; একখণ্ড সীসা (যাহার জলে ওজন 82 gms) কাঠটির সহিত আটকানো হইল। উভয়ে মিলিয়া জলে ওজন হইল 18·5 gms ; কাঠের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A piece wood weighs 74 gms in air. A piece of lead which weighs 82 gms in water is tied with the piece of wood and they together weigh 18·5 gms in water. What is the specific gravity of wood ?] [Ans. 0·8]

7. 8 ইঞ্চি দীর্ঘ একটি বেলনাকৃতি পেনসিল খাড়া অবস্থায় জলে ভাসিতে থাকিলে 3 ইঞ্চি জলের বাহিরে থাকে। 0·8 আপেক্ষিক গুরুত্ব সম্পন্ন কোন তরলে ভাসাইলে পেনসিলটির দৈর্ঘ্যের কতটা ঐ তরলের বাহিরে থাকিবে ?

[A cylindrical pencil, 8 inches long, floats vertically in water with 3 inches of it above the water. How much of it will project out of a liquid of specific gravity of 0·8 ?] [H. S (comp), 1963] [Ans. 6·25 inches]

8. একটি আয়তাকার কাঠের ব্লক টুকরা জলে ভাসমান আছে। জলের উপর কেরোসিন তেল ঢালা হইতে লাগিল যতক্ষণ না টুকরাটির মাথা কেরোসিনে ঠিক ডুবিয়া গেল। এই তেল মিশ্রণে জলের মধ্যে ব্লকটির মোট উচ্চতার $\frac{1}{8}$ অংশ জলে ডুবিয়া আছে। কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·82 হইলে কাঠের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A rectangular block of wood floats in water. Kerosene oil is poured on water until the block is just under kerosene oil. In the mixture, the block is found to float with $\frac{1}{8}$th of its height immersed in water. If the specific gravity of kerosene oil be 0·82, find the specific gravity of wood.] [Ans 0·85]

9. দুইটি তরলের সমান আয়তন একত্রে মিশ্রিত করা হয় তখন ঐ মিশ্রণের আপেক্ষিক গুরুত্ব হয় 4, কিন্তু যখন ঐ দুইটি তরলের সমান ওজন মিশ্রিত করা হয় তখন আপেক্ষিক গুরুত্ব হয় 3; তরল দুইটির আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[When equal volumes of two liquids are mixed together, the specific gravity of the mixture is 4. But when equal weights of the two liquids are mixed together the sp. gravity of the mixture is 3. Find the sp. gravities of the liquids.] [Ans. 6 and 2]

10. একটি জলপূর্ণ কাচের বোতলের ওজন 75 gms, পারদ দ্বারা পূর্ণ করিলে উহার ওজন হয় 705 gms, এবং সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা পূর্ণ করিলে ওজন হয় 117 gms, পারদের ঘনত্ব 13·6 gms/c.c হইলে সালফিউরিক অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A glass bottle weighs 75 gms when full of water, 705 gms when full of mercury and 117 gms when full of sulphuric acid. Density of mercury being 13·6 gms/c. c., calculate the specific gravity of the acid.] [Ans. 1·84]

11. একখণ্ড কর্কের বায়ুতে ওজন 19 gms ; কর্কটিকে একটি রূপার খণ্ডের সহিত আটকাইয়া ওজন করিলে উভয়ের ওজন হয় 68 gms ; এবং উহারা জলে ঠিক ডুবিয়া ভাসে। রূপার আপেক্ষিক গুরুত্ব 10·5 হইলে কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

[A piece of cork weighs 19 gms in air. When it is tied to a piece of silver, they weigh 68 gms and they float in water just immersed. Specific gravity of silver being 10·5, what is the specific gravity of cork ?] [Ans. 0·82]

12. কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 800 gms ; 0·9 আপেক্ষিক গুরুত্বের একটি তরলে উহার ওজন 270 gms ; জলে উহার ওজন কত হইবে ?

[A substance weighs 800 gms in air and 270 gms in a liquid of specific gravity 0·9. How much would it weigh in water ?] [Ans. 266·6 gms]

13. একটি বাঁকানো নল টেবিলের উপর খাড়া করিয়া বসানো আছে। নলের এক বাহুতে প্যারাফিন তেল এবং অন্য বাহুতে জল আছে। প্যারাফিন স্তম্ভের শীর্ষ এবং তল টেবিল হইতে যথাক্রমে 18·4 এবং 6·4 inches উঁচু হইলে এবং জলস্তম্ভের শীর্ষ 16·6 inches উঁচু হইলে প্যারাফিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

[A bent tube, containing paraffin oil in one limb and water in the other, is placed vertically on the table. If the top and bottom of paraffin column from the table are respectively 18·4 and 6·4 inches and the top of the water column is 16·6 inches from the table, calculate the sp. gravity of paraffin oil.]

[*H. S. (Comp.) 1961*] [Ans. 0·85]

14. কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·8 , সমব্যাসযুক্ত খাড়া একটি U-নলে 10 cm. দীর্ঘ কেরোসিন তেলের স্তম্ভ আছে। নলে জল ঢালা হইল। জলস্তম্ভের মোট উচ্চতা যদি 10 cm. হয় তবে দুই তরলের শীর্ষ তলের উচ্চতার পার্থক্য কত হইবে ?

[Kerosene has a specific gravity of 0·8. A vertical U-tube of uniform bore contains a 10 cm. column of kerosene. Water is poured into the tube. If total length of the water column is also 10 cm. what will be the difference in height between the top levels of the two liquids ?] [*H. S. Exam. 1963*]

[Ans. 2·5 cm]

15. একটি U-নলের নিচু অংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ ... প্রবেশ করিল। তারপর এক বাহুতে দিয়া এমন পরিমাণ গ্লিসারিন (আঃ গুঃ = 1·26) ঢালা হইল যাহাতে দুই বাহুর পারদ স্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য হইল 1·5 cm ; গ্লিসারিন স্তম্ভের উচ্চতা নির্ণয় কর। পারদের আঃ গুঃ = 13·6

[The bend of a U-tube is filled with mercury. Enough glycerine (sp. gr. = 1·26) is poured into one limb to create a difference of 1·5 cm. in the levels of mercury in the two limbs. Find the height of the column of glycerine, given the sp. gravity of mercury = 13·6] [Ans. 16·19 cm.]

16. নিকলসন হাইড্রোমিটারের বিবরণ দাও এবং উহা দ্বারা কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় প্রণালী বর্ণনা কর।

[Describe a Nicholson's hydrometer and explain how you would determine the specific gravity of a cork with it.] [*H. S. Exam. 1964*]

17. একটি নিকলসন হাইড্রোমিটার 0·6 আপেক্ষিক গুরুত্বের কোন তরলে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবে। কিন্তু জলে ঐ দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে 120 gms প্রয়োজন হয়। হাইড্রোমিটারের ওজন নির্ণয় কর।

[A Nicholson's hydrometer sinks upto a certain mark in a liquid of specific gravity 0·6 but it requires 120 gms to sink upto that mark in water. Calculate the weight of the hydrometer.] [Ans. 180 gms.]

18. একটি নিকলসন হাইড্রোমিটারকে জলে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে 60.8 gms ওজন লাগে। অ্যালকোহলে ঐ দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে 6.8 gms প্রয়োজন হয়। হাইড্রোমিটারের ওজন 200 gms হইলে অ্যালকোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

[In order to sink a Nicholson's hydrometer to the mark in water, it was necessary to add 60.8 gms to the upper pan. When floating in alcohol, only 6.8 gms. were required to sink it upto the mark. If the hydrometer weighs 200 gms, what is the specific gravity of alcohol ?] [Ans. 0.794]

19. গুঁড়া পদার্থ বা সূক্ষ্মকণাবিশিষ্ট পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব কিরূপে নির্ণয় করিবে?

[How would you find out the specific gravity of a powder or a granular substance ?]

20. হেয়ার যন্ত্রের বিবরণ দাও ও উহার কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

[Describe a Hare's apparatus and explain how it works.]

21. একটি হীরা বসানো সোনার আংটির বায়ুতে ওজন 4 gms এবং জলে ওজন 8.72 gms, সোনা ও হীরার আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 19.8 এবং 8.5 আংটিতে হীরার ওজন নির্ণয় কর।

[A gold ring, set with diamond, weighs 4 gms in air and 8.72 gms in water. The specific gravities of gold and diamond are respectively 19.8 and 3.5 Find the weight of diamond in the ring.] [Ans 0.81 gm.]

22. 1 c.c. সীসার সহিত 21 c.c. কাঠ জুড়িয়া জলে ছাড়া হইল। সীসা ও কাঠের আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 11.4 এবং 0.5; মিশ্রণটি জলে ভাসিবে কি ডুবিবে নির্ণয় কর।

[1 c.c. lead and 21 c.c. wood, when tied together are allowed to be dropped into water. If the specific gravities of lead and wood are 11.4 and 0.5 respectively, find whether the combination will float or sink]

[*H S (Comp) 1963*] [Ans. float]

23. একখানি গহনা ফাঁপা বলিয়া সন্দেহ হয়। বায়ুতে উহার ওজন 288.75 gms এবং জলে ওজন 258.75 gms. গহনার উপাদানের আপেক্ষিক গুরুত্ব 10.5 হইলে ফাঁপা অংশের আয়তন নির্ণয় কর।

[An ornament is suspected to be hollow It weighs 288.75 gms in air and 258.75 gms in water. If the sp gr. of the material of the ornament be 10.5, calculate the volume of the cavity of the ornament] [Ans 2.5 c.c.]

24. A, B, C তিনটি বিভিন্ন ধাতুর তিনটি টুকরা। বায়ুতে এবং জলে উহাদের ওজন যথাক্রমে 16, 20 ও 22 gms এবং 14, 18 ও 20 gms; যদি উহাদের দুইটি বিশুদ্ধ ধাতুর তৈয়ারী ও তৃতীয়টি উহাদের শংকর ধাতু হয়, তবে নির্ণয় কর যে কোনটি শংকর ধাতুর তৈয়ারী। উহাতে অন্য দুইটি ধাতুর অংশ কত তাহাও নির্ণয় কর।

[Three pieces A, B and C of different substances weigh 16, 20 and 22 gms respectively in air and 14, 18 and 20 gms respectively in water. If two of the pieces be pure metals and the third be their alloy, which of the three pieces is alloy ? Also calculate the proportion, by weight, of the pure metals in the alloy. [Ans. B শংকর ধাতু ; A = $5\frac{1}{3}$ gms C = $14\frac{2}{3}$ gms]

25. হেয়ার যন্ত্রের কোন পরীক্ষায় একটি নলে জল 26·8 cms উঠিয়াছে দেখা গেল। অপর নলে যে তরল পদার্থ আছে তাহার আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·84 হইলে ঐ নলে তরল পদার্থ কতটা উঁচুতে উঠিবে?

[In one experiment with Hare's apparatus, water is found to rise 26·8 cms is one arm of the U-tube. If the sp. gravity of the liquid in the other limb be 1·84, find the height to which the liquid will rise.] [*H. S Exam. 1962*]

[Ans. 20 cms.]

24. 80 cm দীর্ঘ এবং $\frac{1}{2}$ sq. cm প্রস্থচ্ছেদযুক্ত একটি কাচের নলের এক মুখ খোলা এবং এক মুখ বন্ধ। নলটির ওজন 4 gms এবং উহার ভিতর 10 gms পারদ আছে। একটি তরলে নলটি দৈর্ঘ্যের 2 cm বাহিরে রাখিয়া খাড়াভাবে ভাসিতে থাকিলে তরলটির আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

[A glass tube 80 cm long and $\frac{1}{2}$ sq. cm. in cross-section is closed at one end : its weight is 4 gms, and 10 gms of mercury are put in it. What will be the sp gravity of the liquid in which it floats vertically with 2 cm. of its length above the surface ?] [Ans. 1]

27. একটি বস্তু উহার আয়তনের f ভগ্নাংশ নিমজ্জিত করিয়া একটি তরলে ভাসিতেছে, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব s_1; s_2 আঃ গুরুত্বের অন্য একটি তরলে বস্তুটি আয়তনের $(1-f)$ অংশ নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসে। প্রমাণ কর, ঐ বস্তুটির উপাদানের আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\frac{s_1 s_2}{s_1+s_2}$

[A body floats in a liquid of specific gravity s_1 with a certain fraction f of its volume immersed. In a liquid of specific gravity s_2 it floats with a fraction $(1-f)$ of its volume immersed. Show that the specific gravity of the solid is $\frac{s_1 s_2}{s_1+s_2}$]

[Objective Type Questions]

28. নিম্নলিখিত অশুদ্ধ উক্তিগুলি শুদ্ধ কর:—

(i) যে-কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ে জলকে নির্দিষ্ট মান ধরা হয়।

(ii) এম. কি. এস. পদ্ধতিতে আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং ঘনত্বের মান সমান।

(iii) ঘনত্ব প্রকাশে কোন এককের প্রয়োজন নাই কারণ উহা একটি অনুপাত মাত্র।

(iv) হেয়ার যন্ত্রের নল দুইটির প্রস্থচ্ছেদ খুব সরু হইলেও কোন ক্ষতি হয় না।

(v) ভাসন পদ্ধতির দ্বারা, হাল্কা, ভারী যে কোন কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা চলে।

(vi) আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ে তাপমাত্রার উল্লেখের কোন প্রয়োজন নাই।

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

বায়ুমণ্ডলের চাপ এবং চাপ-সংক্রান্ত বিভিন্ন পাম্প

[Atmospheric pressure and various air pressure pumps]

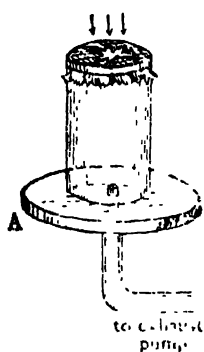
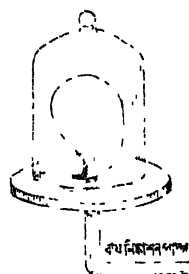
5-1. বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmospheric pressure) :

এই পৃথিবী বায়ুমণ্ডল কর্তৃক পরিব্যাপ্ত। এই বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতি বহুবিধ বায়বীয় পদার্থ বিদ্যমান। বায়ু আমরা দেখিতে পাই না, কিন্তু নানা উপায়ে ইহার অস্তিত্ব অনুভব করিতে পারি। যখন গাছের পাতা নড়ে তখন বুঝি যে বায়ু বহিতেছে, পাখা চালাইলে শরীরের উপর দিয়া বায়ু প্রবাহিত হইলে বুঝি যে বায়ু আছে। এইরূপে আমরা অনুভূতির সাহায্যে বায়ুর অস্তিত্ব টের পাই। পৃথিবীকে বেষ্টন করিয়া এই বায়ুমণ্ডল বহুদূর প্রসারিত। মাছ যেমন জলে ডুবিয়া থাকে, মানুষ, জীব-জন্তু সব তেমনি বায়ুসমুদ্রে ডুবিয়া আছে। পৃথিবীর বুকে সমস্ত প্রাণীর জীবনধারণ এই বায়ুমণ্ডলের জন্যই সম্ভব। কারণ নিঃশ্বাস-প্রশ্বাসের জন্য তাহারা বায়ুমণ্ডলের নিকট ঋণী।

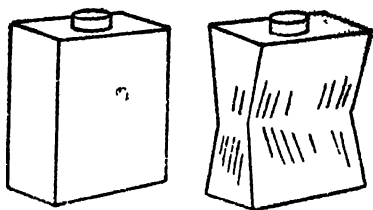
এই বায়ুমণ্ডলের ওজন আছে। তাই ভূপৃষ্ঠের উপর বায়ুমণ্ডল চাপ প্রদান করে। সাধারণতঃ বায়ু অত্যন্ত হাল্কা, সুতরাং মনে হয় এই চাপ অতি সামান্য। কিন্তু পৃথিবীর চতুর্দিকে প্রায় 200 মাইল পর্যন্ত পরিব্যাপ্ত বায়ুমণ্ডলের সমস্ত বায়বীয় পদার্থের কথা চিন্তা করিলে দেখা যাইবে এই চাপ সামান্য নয়। প্রকৃতপক্ষে পৃথিবীর উপরে **প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে এই চাপের পরিমাণ প্রায় 14·7 পাউণ্ড** (প্রায় 7 সের)। একজন প্রাপ্তবয়স্ক মানুষের দেহের ক্ষেত্রফল 16 বর্গফুট। সুতরাং মানুষের শরীরে বায়ুমণ্ডল যে-চাপ প্রদান করে তাহার মোট পরিমাণ $16 \times 144 \times 14{\cdot}7$ পাউণ্ড অথবা 405 মণ। কাজেই বায়ুমণ্ডলের চাপ নগণ্য একথা বলা চলে না। তবে মানুষের শরীরের ভিতরেও বায়ু প্রবেশ করে বলিয়া বাহিরের এই চাপ ভিতরের চাপের সমান ও বিপরীত। কাজেই মানুষ সাধারণত এই চাপ অনুভব করে না।

তরলের ন্যায় বায়ুমণ্ডলও সর্বদিকে চাপ প্রদান করে এবং বায়ুমণ্ডল সংলগ্ন কোন তলের উপর লম্বভাবে এই চাপ ক্রিয়া করে।

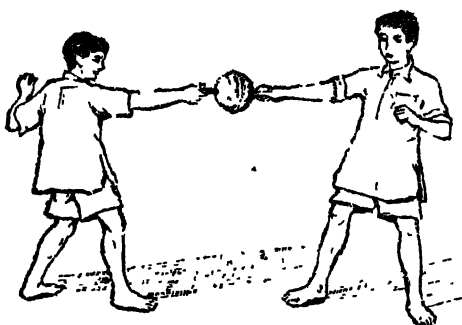
5-2. বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করিবার পরীক্ষা (Experiments to demonstrate the existence of atmospheric pressure) :

(1) একটি দুমুখ খোলা শক্ত কাচের চোঙ লইয়া একমুখ পাতলা রবার পাত দিয়া শক্ত করিয়া আটকাও (5ক নং চিত্র)। কাচের পাত্রটিকে বায়ু নিষ্কাশক যন্ত্রের (exhaust pump) রেকাবী A-তে বসাও। রেকাবী এবং পাত্রের মুখের মধ্যে যাহাতে কোন ফাঁক না থাকে সেজন্য ভেস্‌লীন দিয়া জোড়ের মুখ বায়ুনিরুদ্ধ (air-tight) কর। পাত্রের ভিতরস্থ বায়ু এবং বাহিরের বায়ুর চাপ সমান এবং বিপরীতমুখী বলিয়া রবার পাত সমতল থাকিবে। এখন বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্র চালাইয়া পাত্রের ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া লইলে দেখা যাইবে রবার পাতটি ক্রমশ উপর হইতে চাপ পাইয়া বাঁকিয়া যাইতেছে। ভিতরের বায়ু বেশী বাহির করিয়া লইলে রবার পাতটি ক্রমশ বাঁকিতে বাঁকিতে সশব্দে ফাটিয়া যাইবে। সুতরাং ইহা প্রমাণ করে যে, বায়ুমণ্ডলের চাপ আছে।

বায়ুর নিম্নাভিমুখী চাপের পরীক্ষা
চিত্র 5ক

(2) একটি পাতলা রবারের বেলুনের অল্প পরিমাণ হাওয়া ভর্তি করিয়া বেলুনটির মুখ বন্ধ করা হইল। বেলুনটিকে বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের রেকাবীর উপর রাখিয়া একটি বড় কাচ-পাত্র দ্বারা ঢাকিয়া দেওয়া হইল [5ক (i) নং চিত্র]। কাচ-পাত্র ও রেকাবীর জোড়ের মুখ ভেস্‌লীন দিয়া বায়ু-নিরুদ্ধ করিতে হইবে। এইবার পাম্প চালাইয়া কাচপাত্রের বায়ু যত বাহির করিয়া লওয়া হইবে তত বেলুনটি আস্তে আস্তে ফুলিতে থাকিবে। ইহার কারণ এই যে বেলুনের চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ু নিষ্কাশিত হইবার সঙ্গে সঙ্গে বেলুনের বাহিরের চাপ কমিয়া যায়। কিন্তু বেলুনের ভিতরস্থ বায়ুর চাপ সাধারণ বায়ুর চাপের সমান থাকায় ইহার আয়তন বৃদ্ধি হয় এবং বেলুনটি ফুলিয়া উঠে।

বায়ুর বহির্মুখী চাপের পরীক্ষা
চিত্র 5ক (i)

(3) একটু লম্বা ধরনের ছোট মুখওয়ালা পাতলা টিনের পাত্র [চিত্র 5ক (ii)] লইয়া উহাতে কিছু জল ঢাল। জলকে দ্রুত উত্তপ্ত করিয়া ফুটাও। ইহাতে জলীয় বাষ্প পাত্রের ভিতরকার সব বায়ুকে বাহির করিয়া দিবে। এইবার পাত্রের মুখ রবারের ছিপি দিয়া বায়ু-নিরুদ্ধ (air-tight) ভাবে আটকাও এবং পাত্রটি দ্রুত ঠাণ্ডা কর। ইহার ফলে পাত্রের ভিতরস্থ জলীয় বাষ্প জমিয়া জল হইবে এবং ভিতরের চাপ দ্রুত কমিয়া যাইবে। তখন বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে পাত্রটির দেওয়াল 5ক (ii) নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ বাঁকিয়া যাইবে। এই সহজ পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় যে বায়ুমণ্ডল পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করিতে পারে।

বায়ুমণ্ডলের পার্শ্বচাপের পরীক্ষা
চিত্র 5ক (ii)

(4) **ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক পরীক্ষা** (Magdeburg hemisphere experiment) :

দুইটি ফাঁপা পিতলের অর্ধগোলক মুখে মুখে ঠিক জোড়া লাগিয়া একটি পূর্ণ গোলক তৈয়ারী করে (5খ নং চিত্র)। একটি অর্ধগোলকে চাবিসহ একটি নল আছে। এই নলের সহিত বায়ু নিষ্কাশক যন্ত্র লাগানো যাইতে

ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক

ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক পরীক্ষা

চিত্র 5খ

পারে। অপর অর্ধগোলকে একটি হাতল লাগানো আছে। যখন অর্ধগোলক দুইটি একত্র করা হয় এবং ভিতরে বায়ু থাকে তখন উহাদের আলাদা করা

খুব সহজ। কারণ ভিতরে বায়ুর চাপ এবং বাহিরে বায়ুর চাপ সমান ও বিপরীত। কিন্তু অর্ধগোলক দুইটি বায়ুনিরুদ্ধভাবে একত্র করিয়া বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রদ্বারা ভিতরের বায়ু সম্পূর্ণ বাহির করিয়া দিলে উহাদের আলাদা করা খুবই শক্ত! কারণ তখন ভিতরে কোন চাপ থাকে না কিন্তু বাহির হইতে বায়ুমণ্ডল চতুর্দিকে গোলকের উপর প্রচণ্ড চাপ প্রয়োগ করে। জার্মানীর ম্যাগডেবার্গ শহরে অটো ভন্ গেরিক 2 ফুট ব্যাসযুক্ত দুইটি অর্ধগোলকের দ্বারা এই পরীক্ষা করিয়াছিলেন। গোলকটির ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া নিলে বায়ুমণ্ডল এত চাপ প্রয়োগ করিয়াছিল যে উভয় দিকে 6টি ঘোড়া লাগাইয়া উহাদের আলাদা করা সম্ভব হয় নাই। সুতরাং এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ হয় যে **বায়ুমণ্ডল চতুর্দিকে চাপ প্রদান করে।**

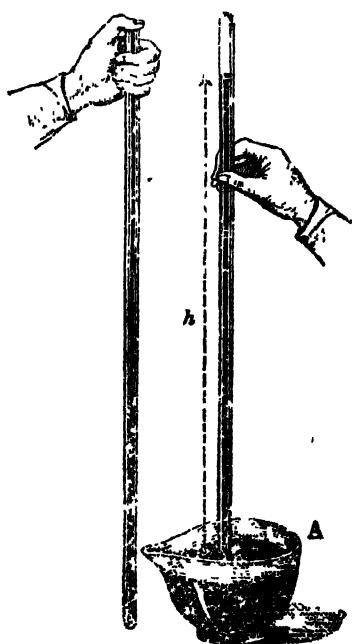
কতগুলি অতি পরিচিত ঘটনার সাহায্যেও বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়। আমরা যখন শ্বাস গ্রহণ করি তখন বুকের মাংসপেশী পাঁজরার হাড়কে বাহিরের দিকে দেয়। তাহাতে বক্ষগহ্বরের আয়তন বাড়ে এবং ফুসফুসের চাপ কমিয়া যায়। তখন বায়ুমণ্ডলের চাপের ফলে বায়ু ফুসফুসে প্রবেশ করে।

স্বয়ংক্রিয় ফাউন্টেন পেনে কালি ভরিবার প্রণালীও বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভরশীল।

টরিসেলির পরীক্ষা
চিত্র 5গ

(5) টরিসেলির পরীক্ষা (Torricelli's experiment):

টরিসেলির পরীক্ষাদ্বারা শুধু যে বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয় তাহা নহে—ইহার পরিমাপও সম্ভব।

প্রায় এক মিটার লম্বা, একমুখ খোলা এবং সর্বত্র সমান ব্যাসযুক্ত মোটা কাচনল লইয়া উহা পারদপূর্ণ কর। অতঃপর খোলামুখ আঙুল দিয়া আটকাইয়া সাবধানে নলটিকে উল্টাইয়া পারদপূর্ণ অপর একটি পাত্রে (A)

নলের খোলা মুখ ঢুকাইয়া দাও এবং আঙুল সরাইয়া লও। নলটিকে খাড়া করিয়া রাখার ব্যবস্থা কর। দেখিবে নলের পারদ কিছুদূর নামিয়া আসিয়া স্থির হইয়া দাঁড়াইবে (5গ নং চিত্র)।

আপাতদৃষ্টিতে মনে হইবে যে নলের ভিতরের পারদস্তম্ভ আপনা-আপনিই দাঁড়াইয়া আছে; কিন্তু বাস্তবিক পক্ষে তাহা নহে। বায়ুমণ্ডলের চাপের দরুন এরূপ হইতেছে। A পাত্রের পারদের উপর বায়ুমণ্ডল সর্বদা চাপ দিতেছে। পাস্কালের সূত্রানুযায়ী পারদ এই চাপ নলের ভিতরকার পারদে সঞ্চালিত করিতেছে। এই ঊর্ধ্বমুখী সঞ্চালিত চাপ নলের ভিতরের পারদ-স্তম্ভের ওজনের সমান হওয়ায় পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া আছে। সুতরাং **বায়ুমণ্ডলের চাপ = প্রতি একক ক্ষেত্রফলে পারদস্তম্ভের ওজন।**

যদি বিভিন্ন ব্যাসের কাচনল লইয়া উপরোক্ত পরীক্ষা করা যায় তবে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতা সমান অর্থাৎ নলের ব্যাসের হ্রাস-বৃদ্ধিতে বায়ু-চাপের কোন তারতম্য হয় না।

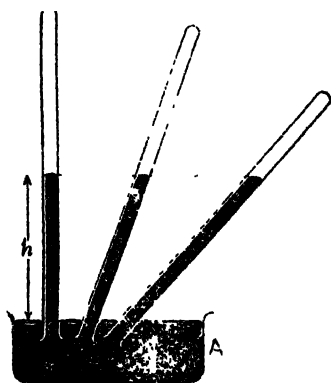
সাধারণত নলের ভিতর পারদস্তম্ভের উচ্চতা প্রায় 76 সে. মি.। অর্থাৎ, বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 সে. মি. উচ্চ পারদস্তম্ভকে ধরিয়া রাখিতে পারে। পারদ জল হইতে 13·6 গুণ ভারী বলিয়া বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 × 13·6 সে. মি. অথবা প্রায় 34 ফুট উচ্চ জলস্তম্ভকে ধরিয়া রাখিতে পারিবে।

টরিসেলির এই পরীক্ষার পশ্চাতে একটি সুন্দর ঐতিহাসিক ঘটনা আছে। টরিসেলির পূর্বেই বায়ুমণ্ডলের চাপের কয়েকটি ঘটনার কথা তখনকার লোকেরা জানিত। কিন্তু ঘটনাগুলি যে বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্য হইতেছে তাহা জানা ছিল না। যেমন, লোকেরা জানিত যে পিচকারী বা সিরিঞ্জের মত যন্ত্র দিয়া জল টানিয়া তোলা যায়। তাহারা ইহার ব্যাখ্যা স্বরূপ বলিত যে প্রকৃতি শূন্যস্থান পছন্দ করে না। সিরিঞ্জের পিস্টন টানিলে যে শূন্যস্থান তৈয়ারী হয় প্রকৃতি তাহা পছন্দ করে না বলিয়াই জল পিস্টনের পিছনে পিছনে উঠিয়া যায়। এই সময় অর্থাৎ 1642 খ্রীষ্টাব্দে ইটালীর অন্তর্গত টুস্কানীর ডিউক তাঁহার বাগানে জল দিবার জন্য কতকগুলি কূপ খনন করান এবং কূপ হইতে জল তুলিবার জন্য পাম্প বসান। কূপগুলি প্রায় 50 ft. গভীর ছিল। দেখা গেল যে পাম্প 30 ft. পর্যন্ত জল তুলিতেছে—তাহার বেশী তুলিতে পারিতেছে না। কিন্তু প্রকৃতি ত শূন্য স্থান পছন্দ করে না! তবে জল আর উঠিল না কেন? সেই সময় গ্যালিলিওর বিজ্ঞানী হিসাবে খুব খ্যাতি। টুস্কানীর ডিউক তখন গ্যালিলিওকে ডাকিয়া এই সমস্যা সমাধান করিবার জন্য অনুরোধ করিলেন। গ্যালিলিওর মনে মনে একটা ধারণা ছিল যে বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্যই এরূপ হইতেছে—পাম্পে কোন গণ্ডগোল নাই। প্রকৃতি শূন্যস্থান পছন্দ করে না—ইহাও কোন কাজের কথা নয়। সম্ভবতঃ তিনি তাঁহার মনের কথা তাঁহার প্রিয় শিষ্য টরিসেলিকে বলিয়াছিলেন। কিন্তু তাঁহার ধারণার

সত্যতা পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণ করিবার পূর্বেই তাঁহার মৃত্যু ঘটে। তখন টরিসেলি তাঁহার গুরুর কথা স্মরণ করিয়া ভাবিলেন যে ঐ ঘটনা যদি বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্য হয় এবং বায়ুমণ্ডলের চাপ যদি জলকে 30 ft. উচ্চে তোলে তবে পারদকে তুলিবে 27 inches কারণ পারদ জল অপেক্ষা প্রায় 13·6 গুণ ভারী। তখন তিনি তাঁহার বিখ্যাত পরীক্ষা—যাহা টরিসেলির পরীক্ষা বলিয়া খ্যাত—সম্পন্ন করিলেন।

টরিসেলির পরীক্ষা সম্বন্ধে কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয়ঃ

পূর্ববর্ণিত টরিসেলির পরীক্ষা সম্বন্ধে নিম্নলিখিত বিষয় কয়টি খুবই উল্লেখযোগ্য।

(i) কাচনলে যে পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে তাহার উপরে নলের বদ্ধপ্রান্ত পর্যন্ত স্থান সম্পূর্ণ শূন্য। এই শূন্যস্থানকে **টরিসেলির শূন্যস্থান** (Torricellian vacuum) বলে। প্রকৃতপক্ষে, এই স্থানকে সম্পূর্ণ শূন্য বলিলে ভুল বলা হইবে—কারণ খুব সামান্য পারদ-বাষ্প এই স্থান অধিকার করিয়া থাকে।

(ii) কাচনলের খোলামুখ A-পাত্রের পারদে ডুবাইয়া রাখিয়া যদি নলটিকে ধীরে ধীরে কাত করা যায়, তবে পারদস্তম্ভ ক্রমশ বদ্ধপ্রান্তের দিকে অগ্রসর হইবে কিন্তু সর্বদা পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা (vertical height) সমান থাকিবে [চিত্র 5গ (i)], কারণ এই খাড়া উচ্চতাই বায়ুমণ্ডলের চাপ পরিমাপ করে।

চিত্র 5গ (i)

(iii) যদি কোন আবদ্ধস্থানে টরিসেলির পরীক্ষা করা যায় এবং আবদ্ধ স্থান হইতে বায়ু ক্রমশ বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রের সাহায্যে বাহির করিয়া লওয়া হয়, তবে দেখা যাইবে যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা ক্রমশ কমিতেছে, আবার আস্তে আস্তে বায়ু প্রবেশ করাইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা বাড়িয়া পূর্বের মত হইবে। ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্যই নলে পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে।

(iv) কাচনলটির উপর যদি একটি ছিদ্র করা যায় তবে ঐ ছিদ্রপথে বায়ু প্রবেশ করিবে এবং পারদস্তম্ভের উপর চাপ দিবে। ফলে স্তম্ভের উপরে এবং নীচে অর্থাৎ A পাত্রের পারদতলে চাপ সমান হইবে এবং পারদস্তম্ভ তখন আর

ঐভাবে দাঁড়াইয়া থাকিবে না ; আপন ভারে নামিয়া A পাত্রে জমা হইবে। নিম্নের সহজ পরীক্ষা দ্বারাও ইহা প্রমাণ করা যায়।

প্যাঁচকল (T) আটকানো একটি ব্যুরেট (Burette) A লইয়া জলপূর্ণ কর। ব্যুরেটের খোলামুখ হাত দিয়া আটকাইয়া উপুড় কর এবং জলপূর্ণ একটি পাত্রের (P) ভিতর ঢুকাইয়া হাত সরাইয়া লও। দেখিবে ব্যুরেটের জল পড়িয়া যাইবে না [চিত্র 5গ (ii)]। ইহার কারণ কি? ইহার কারণ বায়ুমণ্ডলের চাপ P পাত্রের জলতলে পড়িতেছে এবং উহা জল কর্তৃক সঞ্চালিত হইয়া ব্যুরেটে দণ্ডায়মান জলস্তম্ভকে ধরিয়া রাখিয়াছে—যেমন টরিসেলির পরীক্ষায় পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে। এইবার ব্যুরেটের প্যাঁচকল (T) খুলিয়া দাও। খোলাপথে বায়ু প্রবেশ করিয়া চাপ দিবে। দেখিবে যে জল ব্যুরেটে আর দাঁড়াইয়া নাই। আস্তে আস্তে P পাত্রে আসিয়া জমা হইয়াছে।

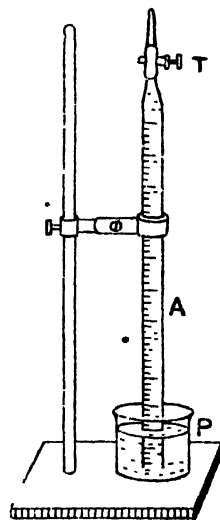
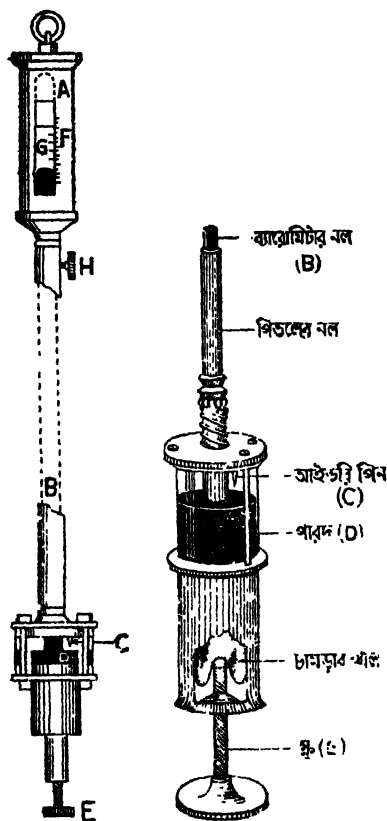
চিত্র 5গ (ii)

5-3. বায়ু-চাপ মাপক যন্ত্র বা ব্যারোমিটার (Barometer) :

যে-যন্ত্রের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপা হয় তাহাকে **ব্যারোমিটার** (Barometer) বলে। ব্যারোমিটার নানারকম হইতে পারে —ইহাদের মধ্যে Fortin's ব্যারোমিটার বিশেষ উল্লেখযোগ্য। এই ব্যারোমিটারের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী নিম্নে বর্ণিত হইল।

(i) Fortin's ব্যারোমিটার :

বিবরণ : টরিসেলির পরীক্ষায় যে-ব্যবস্থা করা হয় তাহার কিছু সংশোধন এবং পরিবর্তন করিলে এই ব্যারোমিটার পাওয়া যায়। 5ঘ নং চিত্রে Fortin's ব্যারোমিটারের একটি ছবি দেখানো হইল।

AB একটি সমব্যাসযুক্ত কাচনল। ইহার দৈর্ঘ্য প্রায় এক মিটার এবং ইহার একমুখ বন্ধ। টরিসেলির পরীক্ষার মত নলটি শুষ্ক ও পরিষ্কার পারদ দ্বারা পূর্ণ করিয়া অপর একটি পারদপূর্ণ পাত্র D-র ভিতর খোলা মুখ ঢুকাইয়া উপুড় করিয়া রাখা আছে। পারদপূর্ণ এই পাত্রটির উপরাংশ কাচ মণ্ডিত এবং নিম্নাংশ পিতলের তৈয়ারী। কাচনলটি একটি পিতলের নলের মধ্যে বসানো

থাকে যাহাতে বাহির হইতে আঘাত লাগিয়া কাচনলটি ভাঙ্গিয়া না যায়। সাধারণত পিতলের নলটি দেওয়ালে একটি আংটার দ্বারা একটি কাঠের ফ্রেমের সাহায্যে খাড়াভাবে ঝুলানো থাকে। পিতলের নলের উপরিভাগে প্রায় 20 সেন্টিমিটার লম্বা ও দেড় সেন্টিমিটার চওড়া দুইটি পরস্পর বিপরীত কাটা অংশ থাকে। এই কাটা অংশের মধ্য দিয়া কাচনল ও উহার অভ্যন্তরস্থ পারদতল দেখা যায়। D পারদ-পাত্রের পারদতল (level) সর্বদা এক রাখিবার জন্য একটি হস্তি-দন্তের পিন (ivory pin) C দেওয়া থাকে। D-পারদপাত্রের পারদতল উঁচু-নীচু করিবার জন্য পাত্রের তলায় একটি স্ক্রু E আছে। এই স্ক্রু ঘুরাইলে D পাত্রের তলায় একটি চামড়ার থলির আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় এবং তাহার ফলে D পাত্রের পারদতল উঁচুতে উঠে বা নীচুতে নামে। চামড়ার থলির ভিতর দিয়া বায়ু চলাচল করিতে পারে কিন্তু পারদ পারে না। ফলে D পাত্রের পারদতলে বায়ু চাপ বাহিরের বায়ু-চাপের সমান হয়। [ব্যারোমিটারের এই তলার অংশ 5ঘ নং চিত্রে আলাদাভাবে দেখানো হইয়াছে।] পিতলের নলের গায়ে একটি স্কেল F

Fortin's ব্যারোমিটার
চিত্র 5ঘ

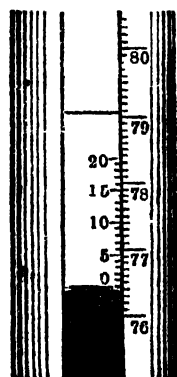
অঙ্কিত আছে এবং এই স্কেলের 0-দাগ হস্তিদন্তের পিনের অগ্রভাগের সহিত এক সমতলে অবস্থিত। পারদস্তম্ভের উচ্চতা সূক্ষ্মভাবে মাপিবার জন্য F স্কেলের সহিত একটি ভার্নিয়ার G যুক্ত থাকে। এই ভার্নিয়ারকে স্কেল বাহিয়া উঠা-নামা করাইবার জন্য একটি স্ক্রু-H পিতলের নলের গায়ে লাগানো থাকে।

এই স্ক্রু ঘুরাইয়া ভার্নিয়ার G-কে এমন জায়গায় আনিতে হইবে যে ভার্নিয়ারের নীচের প্রান্ত পারদস্তম্ভের উত্তল (convex) তলের স্পর্শক (tangent) হয়। ভার্নিয়ারের এই অবস্থান ত্রুটিহীনভাবে করিবার জন্য ভার্নিয়ারের পিছনে একটি সাদা প্লেট লাগানো থাকে। যতক্ষণ পর্যন্ত ভার্নিয়ারের নিম্নপ্রান্ত পারদস্তম্ভের উত্তল তলকে স্পর্শ না করিবে ততক্ষণ পর্যন্ত নীচের ভিতর দিয়া সাদা প্লেট দেখা যাইবে। যে মুহূর্তে সাদা প্লেট দৃষ্টির অগোচর হইবে তখনই বুঝিতে হইবে যে ভার্নিয়ারকে যথাযথ অবস্থানে বসানো হইয়াছে। তাপমাত্রা পরিবর্তনে বায়ুচাপেরও পরিবর্তন হয়। সেইজন্য ব্যারোমিটারের সহিত সর্বদা একটি থার্মোমিটার লাগানো থাকে (ছবিতে দেখানো হয় নাই)।

ব্যারোমিটার পাঠ (To read a barometer) :

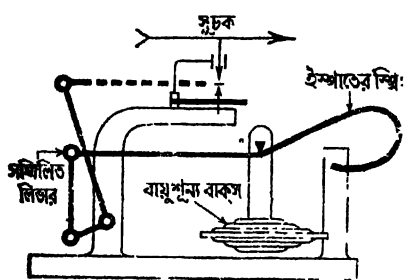
ব্যারোমিটার পাঠ করিতে গেলে সর্বপ্রথম লক্ষ্য করিতে হইবে যে D পারদপাত্রের পারদতল C পিনকে স্পর্শ করিয়া আছে কি-না। প্রতিদিন বায়ুচাপ পরিবর্তনের ফলে পারদতল পিনকে স্পর্শ না করিয়া থাকিতেও পারে। এইজন্য সর্বপ্রথম E-স্ক্রু ঘুরাইয়া পারদতলকে C পিনের সহিত স্পর্শ করাইতে হইবে। ইহার ফলে পারদতল F-স্কেলের 0-দাগের সহিত এক সমতলে আসিবে।

চিত্র 5ঙ

অতঃপর H-স্ক্রু ঘুরাইয়া G-ভার্নিয়ারকে এমনভাবে রাখিতে হইবে যেন ইহার নিম্নতল পারদস্তম্ভের উত্তল তলের স্পর্শক হয় (5ঙ নং চিত্র)। অতঃপর মূল স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ লইয়া পারদস্তম্ভের উচ্চতা নির্ণয় করিলে তখনকার বায়ুচাপ পাওয়া যাইবে।

সাধারণত ব্যারোমিটারে যে-ভার্নিয়ার থাকে উহার স্থিরাঙ্ক ·005 cm. 5ঙ নং চিত্রে যে ভাবে দেখানো হইয়াছে তাহাতে মূল-স্কেল পাঠ হইল 76·4 cm এবং 12 ঘর ভার্নিয়ার দাগ একটি মূল স্কেল দাগের সহিত মিলিয়া যাওয়ায় ভার্নিয়ার পাঠ হইল $12 \times \cdot005 = \cdot06$ cm. সুতরাং ব্যারোমিটার পাঠ হইল $76\cdot4 + \cdot06 = 76\cdot46$ cm. ইহাই তখনকার বায়ু-চাপ নির্দেশ করে।

(2) Aneroid ব্যারোমিটার :

বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ভুল ও সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করিতে গেলে Fortin's ব্যারোমিটার সর্বোৎকৃষ্ট, সন্দেহ নাই। কিন্তু ইহার একটি অসুবিধা এই যে ইহাকে নাড়াচাড়া করা যায় না, ইহাকে সর্বদা খাড়াভাবে একস্থানে আটকাইয়া রাখিতে হয়। Aneroid ব্যারোমিটারের এই অসুবিধা নাই—অর্থাৎ, ইহাকে সহজে নাড়াচাড়া করা যায়, কারণ, এই ব্যারোমিটারে কোন তরল পদার্থ ব্যবহৃত হয় না।

5চ নং চিত্রে এই ব্যারোমিটারের নক্শা দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি ধাতুনির্মিত বাক্স বিশেষ। বাক্সটি আংশিক বায়ুশূন্য এবং বায়ুনিরুদ্ধভাবে বন্ধ করা। বাক্সটির উপরে একটি পাতলা ঢেউখেলানো (corrugated) ধাতব ঢাকনী আছে। বায়ুমণ্ডলের চাপের সামান্য তারতম্যে এই ঢাকনীটি ভিতরের দিকে নামিয়া যায় এবং চাপ কমিলে উপরের দিকে উঠিয়া আসে। বাক্সটির অভ্যন্তর বায়ুশূন্য হওয়ায় এবং ঢাকনীটি পাতলা বলিয়া বায়ুমণ্ডলের চাপে উহা ভাঙ্গিয়া পড়িবার সম্ভাবনা থাকে। একটি শক্ত ইস্পাতের স্প্রিং ঢাকনীটিকে এই বিপদ হইতে রক্ষা করে। যখন বায়ুমণ্ডলের চাপ পরিবর্তিত হয় তখন ঢাকনীটি উপরে অথবা নীচে নড়াচড়া করে। ঢাকনীর এই সামান্য গতিকে (movement) একটি সম্মিলিত লিভার (combination of levers) যন্ত্র দ্বারা বহু গুণ বর্ধিত করা হয় এবং এই বর্ধিত গতি দ্বারা একটি সূচককে (pointer) একটি বৃত্তাকার স্কেলের উপর ঘুরানো হয়। এই স্কেলে (নক্শাতে দেখানো হয় নাই) বায়ুমণ্ডলের চাপ অনুযায়ী দাগ কাটা থাকে। কাজেই স্কেলে সূচকের অবস্থান হইতে সরাসরি বায়ুমণ্ডলের চাপ জানা যায়।

Aneroid ব্যারোমিটার
চিত্র 5চ

সমুদ্রস্তর হইতে যত উচ্চে উঠা যায় বায়ুচাপ তত কমিয়া যায়। সুতরাং বায়ুচাপ লক্ষ্য করিয়া উচ্চতা নির্ণয় করা সম্ভব। Aneroid ব্যারোমিটার দ্বারা এই উচ্চতা নির্ণয় করা হয়। তখন যন্ত্রটিকে বলা হয়

অল্টিমিটার (altimeter)। বায়ুচাপ নির্দেশক স্কেল ছাড়া ইহাতে উচ্চতা নির্দেশক স্কেলও যুক্ত থাকে। এরোপ্লেন চালক এবং পর্বতারোহীগণ এই যন্ত্রের সাহায্যে উচ্চতা নির্ণয় করেন।

4-4. বায়ুচাপের পরিমাণ (Magnitude of atmospheric pressure) **:**

টরিসেলির পরীক্ষা-ব্যবস্থা হইতে আমরা দেখিলাম যে পারদপূর্ণ নলটি একটি পারদপূর্ণ পাত্রে ডুবাইয়া খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিলে নলে যে পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে প্রতি একক ক্ষেত্রে উহার ওজন বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। যেহেতু বায়ুস্তম্ভের ওজন উহার দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক সেই হেতু বায়ুমণ্ডলের চাপকে সাধারণত পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন, 'বায়ুমণ্ডলের চাপ 75 cm পারদস্তম্ভের সমান' বলিতে ইহাই বুঝায় যে প্রতি একক ক্ষেত্রে উক্ত দৈর্ঘ্যযুক্ত পারদস্তম্ভের যে ওজন হইবে তাহাই বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান।

(i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বায়ুচাপের মান ঃ**

ধরা যাউক কোনও স্থানে কোন দিন ব্যারোমিটার উচ্চতা 76 cm দেখা গেল, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে তখনকার বায়ুচাপ নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যাইবে :—

বায়ুমণ্ডলের চাপ, $P=1$ sq. cm ভূমিবিশিষ্ট ও 76 cm. উচ্চতাযুক্ত পারদস্তম্ভের ওজন

$$=(h\times 1)\times\rho\times g$$

$$=76\times 1\times\rho\times g$$

$$=76\times 13{\cdot}6\times 981 \text{ dynes sq. cm.}$$

$$=1{\cdot}013\times 10^6 \text{ dynes sq cm.}$$

[ρ = পারদের ঘনত্ব = 13·6 gms/c.c

(ii) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বায়ুচাপের মান ঃ**

সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে ব্যারোমিটার উচ্চতা 76 cm হইলে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহা প্রায় 30 inches-এর সমান হইবে। অতএব,

বায়ুমণ্ডলের চাপ

$P=1$ sq. inch ভূমিবিশিষ্ট ও 30 inches উচ্চতা-যুক্ত পারদস্তম্ভের ওজন

$$=(h\times 1)\times\rho\times g$$

$$=30\times\frac{13{\cdot}6\times 62{\cdot}5}{(12)^3}\times 32 \text{ poundals/sq. inch.}$$

$$=14{\cdot}7\times 32 \text{ poundals/sq. inch.}$$

$$=14{\cdot}7 \text{ lbs. wt/sq inch.}$$

[ρ = পারদের ঘনত্ব $=\frac{13{\cdot}6\times 62{\cdot}5}{(12)^3}$ lbs/cubic inch]

5-5. বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ (Normal or standard atmospheric pressure) :

বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রায়ই পরিবর্তিত হয়। চাপ বেশী হইতেছে কিংবা কম হইতেছে ইহা বিচার করিতে গেলে কোন নির্দিষ্ট চাপকে মান (standard) ধরিতে হইবে। এই মানকে বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ বলা হয়। সমুদ্র-পৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে এবং 0°C তাপমাত্রায় 76 cm উচ্চ পারদস্তম্ভ যে-চাপ প্রয়োগ করে তাহাকে বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ ধরা হয়। 0°C তাপমাত্রায় পারদের ঘনত্ব 13.596 gms/cc. এবং 45° অক্ষাংশে সমুদ্র-পৃষ্ঠে $g = 980.6$ cm/sec^2 ধরিলে,

$$\text{বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ} = 76 \times 13.596 \times 980.6 \text{ dynes/sq. cm}$$
$$= 1.013 \times 10^6 \text{ dynes/sq. cm.}$$

লক্ষ্য করিবে যে স্বাভাবিক বায়ু-চাপের সংজ্ঞা বলিতে গিয়া নির্দিষ্ট তাপমাত্রা, অক্ষাংশ এবং সমুদ্র-পৃষ্ঠের উল্লেখ করা হইয়াছে। ঐ সকল কারণে বায়ু-চাপ পরিবর্তন করে বলিয়া উপরোক্ত নির্দিষ্ট মানকে standard বা স্বাভাবিক মান ধরা হয়। যেমন, তাপমাত্রা ভেদে পারদের ঘনত্বের পরিবর্তন হয় বলিয়া 0°C তাপমাত্রায় ঘনত্বকে নির্দিষ্ট মান ধরা হয়। তেমনি বিভিন্ন অক্ষাংশে 'g' এর মান বিভিন্ন এবং 45 অক্ষাংশে 'g' এর মান গড় (980.6 cm/sec^2) বলিয়া ঐ নির্দিষ্ট অক্ষাংশ উল্লেখ করা হয়। তাছাড়া সমুদ্র সমতলের উচ্চতা শূন্য ধরা হয় বলিয়া পারদস্তম্ভের উচ্চতা সমুদ্র-পৃষ্ঠ হইতে মাপা হয়।

মন্তব্য :—(1) আবহবিদগণ (meteorologists) বায়ুমণ্ডলের চাপকে 'bar' এবং 'millibar' এককে প্রকাশ করিয়া থাকেন।

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dynes/sq. cm.} = 1 \text{ mega dyne/sq. cm.}$$

$$1 \text{ millibar} = \frac{10^6}{10^3} \text{ dynes/sq. cm} = 1000 \text{ dynes/sq. cm.}$$

এই একক অনুযায়ী বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপকে 1.013 bar বলা যাইতে পারে।

(2) গ্যাস বা তরলপদার্থ যদি খুব বেশী চাপ প্রয়োগ করে তবে উহাকে বায়ুমণ্ডলের চাপের সহিত তুলনা করিয়া ঐ চাপকে প্রকাশ করিবার জন্য একটি পদ্ধতি আছে। যেমন, কোন গ্যাস বা তরল পদার্থ যদি 1.013×10^6 dynes/sq. cm. অথবা 14.7 lbs.wt/sq. inch চাপ প্রয়োগ করে, তবে উহাকে **এক বায়ুমণ্ডল** (1 atmosphere) চাপ বলিয়া প্রকাশ করা হয়। তেমনি দুই, তিন বা চার ইত্যাদি

বায়ুমণ্ডল চাপ—এইভাবে গ্যাস বা তরল পদার্থের চাপকে প্রকাশ করা হয়। সুতরাং

$$1 \text{ atmosphere} = 1{\cdot}013 \times 10^6 \text{ dynes/sq. cm.}$$

$$= 14{\cdot}7 \text{ lbs.wt/sq. inch.}$$

(3) ব্যারোমিটারে পারদের পরিবর্তে জল ব্যবহার করিলে বায়ুমণ্ডলের চাপের দরুন ব্যারোমিটার নলে যে জলস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকিবে তাহার উচ্চতা অনেক বেশী হইবে। পারদের ঘনত্ব 13.6 gms/c. c. ধরিয়া লইলে অর্থাৎ জল অপেক্ষা পারদ 13.6 গুণ ভারী হইলে যখন পারদ ব্যারোমিটারের উচ্চতা 76 cm বা 30 inches তখন জল ব্যারোমিটারের উচ্চতা হইবে $30 \times 13{\cdot}6$ inches $= \frac{30 \times 13{\cdot}6}{12}$ ft $= 34$ ft.

সুতরাং আমরা বলিতে পারি বায়ুমণ্ডলের চাপ 34 ft. উচ্চ জলস্তম্ভকে খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিবে বা বায়ুমণ্ডলের চাপ সুবিধা পাইলে জলকে 34 ft. খাড়া তুলিয়া দিবে (5-11 অনুচ্ছেদ 'শোষণ পাম্প' দ্রষ্টব্য)। পারদ ব্যারোমিটার অপেক্ষা জল ব্যারোমিটার অনেক বেশী সুবেদী (sensitive) কারণ চাপের কোন পরিবর্তন হইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার যে পরিবর্তন হইবে জলস্তম্ভের উচ্চতার পরিবর্তন তাহা অপেক্ষা প্রায় 13.6 গুণ হইবে। কিন্তু জল ব্যারোমিটার যন্ত্র অস্বাভাবিকরূপ লম্বা হওয়ায় উহা নড়াচড়া করা খুব অসুবিধাজনক।

(4) আবার জলের পরিবর্তে ব্যারোমিটার নলে অন্য কোন তরল, যেমন গ্লিসারিন ব্যবহার করিলে সেক্ষেত্রে গ্লিসারিন স্তম্ভের উচ্চতা কত হইবে তাহা আমরা অনায়াসে বাহির করিতে পারি।

জল-ব্যারোমিটারের উচ্চতা 34 ft. ধরিয়া লইলে, মনে করা যাক গ্লিসারিন ব্যারোমিটারের উচ্চতা হইল h ft.; এক্ষেত্রে 34 ft. উচ্চ জলস্তম্ভ যে চাপ দিতেছে তাহা h ft উচ্চ গ্লিসারিন স্তম্ভের চাপের সমান।

এখন, 34 ft. উচ্চ জলস্তম্ভের চাপ = উচ্চতা × ঘনত্ব × g

$$= 34 \times 62{\cdot}5 \times g$$

এবং h ft. উচ্চ গ্লিসারিন স্তম্ভের চাপ $= h \times 1{\cdot}25 \times 62{\cdot}5 \times g$

(গ্লিসারিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব = 1.25)

সুতরাং $h \times 1{\cdot}25 \times 62{\cdot}5 \times g = 34 \times 62{\cdot}5 \times g$

$$h = \frac{34}{1{\cdot}25} = 27{\cdot}2 \text{ ft}$$

5-6. আবহাওয়ার পূর্বাভাস ; বায়ুচাপের উপর জলীয় বাষ্পের প্রভাব ঃ

বায়ুচাপ নির্ণয় করা ছাড়া ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার মোটামুটি পূর্বাভাস পাওয়া সম্ভব। নানা প্রাকৃতিক কারণে কোন স্থানের বায়ুচাপ পরিবর্তিত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতারও পরিবর্তন হয়।

যেমন পারদস্তম্ভের উচ্চতা ধীরে ধীরে কমিতে থাকিলে বোঝা যায় যে শীঘ্রই বৃষ্টির সম্ভাবনা আছে। কারণ উচ্চতা কমার অর্থ বায়ুচাপ কমিয়া যাওয়া এবং তাহা একমাত্র সম্ভব যদি বায়ুমণ্ডলে জলীয়-বাষ্পের আধিক্য হয়। জলীয়-বাষ্প শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা হাল্‌কা বলিয়া ঐরূপ হয়। বায়ুমণ্ডলে জলীয়-বাষ্পেব আধিক্য হইলে বৃষ্টিব সম্ভাবনা থাকে।

তেমনি হঠাৎ যদি পাবদস্তম্ভের উচ্চতা দ্রুত কমিয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে যে চতুর্দিকে বাযুমণ্ডলেব চাপ সহসা কমিয়া গিয়াছে। ফলে পার্শ্ববর্তী উচ্চ-চাপেব স্থান হইতে প্রবলবেগে বায়ু ঐদিকে প্রবাহিত হইবে। অর্থাৎ ঝড়ের সম্ভাবনা আছে।

আবাব যদি পারদস্তম্ভেব উচ্চতা ধীবে ধীরে বাড়িতে থাকে তবে বুঝিতে হইবে যে বাযুমণ্ডল হইতে জলীয়-বাষ্পকে অপসাবিত কবিয়া শুষ্ক বায়ু সেই স্থান অধিকাব কবিতেছে। অর্থাৎ, আবহাওয়া শুষ্ক ও পবিষ্কাব থাকিবে।

এইভাবে ব্যাবোমিটাব লক্ষ্য কবিয়া আবহাওয়ার পূর্বাভাস সম্বন্ধে মোটামুটি ধাবণা কবা যায।

যে কোন স্থানেব বায়ু চাপ, বাযুপ্রবাহেব অভিমুখ, বাযুতে জলীয় বাষ্পেব পরিমাণ--ইত্যাদি বাযুমণ্ডলের নানাবিধ ঘটনা অনবরত পাববর্তিত হয়। আবহাওয়া অফিসে বিবিধ যন্ত্রের সাহায্যে ইহাদের পাঠ লওয়া হয় এবং প্রাপ্ত রাশিগুলি একটি ছক কাগজে বিন্দু দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সমচাপ-সম্পন্ন সকল স্থানগুলি একটি নিরবচ্ছিন্ন রেখা দ্বাবা সংযুক্ত করা হয়। এই ধরনেব বিভিন্ন রেখা সম্বলিত ছক কাগজকে **আবহাওয়া মানচিত্র** (weather chart) বলে। সমচাপ-সম্পন্ন রেখাগুলি মানচিত্রে **সমচাপরেখা** (isobar) বলিয়া বর্ণিত থাকে। তেমনি নিম্নচাপের স্থানগুলিকে **ঘূর্ণবাত** (cyclone) অঞ্চল ও উচ্চ চাপের স্থানগুলিকে **প্রতীপ-ঘূর্ণবাত** (anti-cyclone) অঞ্চল বলা হয়। ঘূর্ণবাত বা প্রতীপ ঘূর্ণবাত কোন

নির্দিষ্ট স্থানে অধিক সময় স্থায়ী হয় না এবং ইহারা যথাক্রমে দুর্যোগপূর্ণ ও সুন্দর আবহাওয়া ঘোষণা করে।

5-7. ব্যারোমিটারের সাহায্যে উচ্চতা নির্ণয় (Determination of height by a barometer) ঃ

উচ্চতা বৃদ্ধি পাইলে বায়ু-চাপ হ্রাস পায় ; অতএব বায়ু চাপ লক্ষ্য করিয়া উচ্চতা নির্ণয় করা যায় একথা 5 3 অনুচ্ছেদে উল্লেখ করা হইয়াছে।

মনে কর, A এবং B দুইটি বিন্দু—উহাদের মধ্যে উচ্চতা H cm. এখন, ঐ দুই বিন্দুতে ব্যারোমিটাব পাঠ যথাক্রমে h_1 cm পারদস্তম্ভ এবং h_2 cm. পারদস্তম্ভ। ব্যারোমিটার পাঠের পার্থক্য—অর্থাৎ $(h_1 - h_2)$ cm. পারদ-স্তম্ভের চাপ হইবে H cm. বায়ুস্তম্ভের চাপেব সমান।

এখন, পারদেব ঘনত্ব 'ρ' এবং বায়ুব গড় ঘনত্ব 'd' ধবিলে, ঐ পারদস্তম্ভের চাপ $= (h_1 - h_2) \rho$ gms-wt.

এবং ঐ বায়ুস্তম্ভের চাপ $= H.\ d$ gms. wt.

$$\therefore \quad H.\ d = (h_1 - h_2)\rho$$

$$\therefore \quad H = \frac{(h_1 - h_2)\rho}{d}$$

উদাহরণ ঃ একটি বাড়ীব সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন তলায় ব্যারোমিটাব পাঠ দেখা গেল যথাক্রমে 29 905 inches এবং 29·949 inches , পারদ ও বায়ুব ঘনত্ব যথাক্রমে 13·53 এবং ·001293 gm/c c. হইলে, বাড়ীটির উচ্চতা কত ?

[The readings of a barometer at the top and ground floor are 29 905 inches and 29 949 inches respectively. The densities of mercury and air are 13 53 and ·001293 gm/c.c. respectively. Find the height of the building.]

উ। যেহেতু 1 inch = 2·5 cm. ; কাজেই ব্যারোমিটার পাঠের তফাৎ = (29 949 − 29·905) × 2·5 = 044 × 2·5 cm.

সুতরাং পারদস্তম্ভের চাপ = ·044 × 2·5 × 13·53 gms-wt.

এবং বায়ুস্তম্ভের চাপ = H × 001293 gms-wt.

$$\therefore \quad H \times \cdot001293 = \cdot044 \times 2\cdot5 \times 13\ 53$$

$$H = \frac{\cdot044 \times 2\cdot5 \times 13\cdot53}{\cdot001293} \text{ cm.}$$

$$= 1152 \text{ cm.}$$

5-8. গ্যাসের চাপ এবং বয়েলের সূত্র (Pressure of a gas and Boyle's Law) :

চাপ প্রদান করিয়া গ্যাসের আয়তন অতি সহজে পরিবর্তন করা যায়—অর্থাৎ, গ্যাসের সংনম্যতা (compressibility) কঠিন বা তরল পদার্থ হইতে অনেক বেশী। তাছাড়া, তরল পদার্থে বা বায়ুমণ্ডলে যেমন বিভিন্ন গভীরতায় চাপ বিভিন্ন হয়, আবদ্ধ গ্যাসে তাহা হয় না। আবদ্ধ গ্যাসের চাপ **সর্বত্র সমান**। উহা আধারের সর্বত্র সমান চাপ দেয়।

চাপের সহিত গ্যাসের আয়তনের সম্পর্ক সম্বন্ধে যে-সূত্র আছে তাহাকে **বয়েলের সূত্র** বলে। রবার্ট বয়েল এই সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্রানুযায়ী বলা যায় যে **তাপমাত্রা স্থির রাখিয়া কিছু পরিমাণ গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে ঐ গ্যাসের আয়তন চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতে (inversely) পরিবর্তিত হইবে।**

অর্থাৎ, কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন যদি V হয় এবং ইহার চাপ যদি P হয় তবে উপরোক্ত সূত্রানুযায়ী

$V \propto \frac{1}{P}$, যদি গ্যাসের তাপমাত্রার পরিবর্তন না হয়।

অথবা, VP = ধ্রুবক।

বয়েলের সূত্র পরীক্ষার যন্ত্র
চিত্র 5ছ

অতএব কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যদি পরিবর্তিত হইয়া V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি এবং উহাদের চাপ যথাক্রমে P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি হয়, তবে

$V_1P_1 = V_2P_2 = V_3P_3$ ইত্যাদি।

5-9. বয়েলের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা (Experimental verification of Boyle's Law) :

বয়েলের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা করিতে 5ছ নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে। A এবং B দুইটি কাচনলী। B নলের উপরের মুখ বন্ধ। A নলের উভয় মুখ খোলা। উহারা কাঠের ফ্রেমের সঙ্গে একটি স্কেলের দুইপাশে আটকানো। A কাচনলটি উপরে-নীচে সরানো যায়। উভয়কে

একটি রবার নল দ্বারা সংযুক্ত করা আছে। A এবং B নলের কিয়দংশ এবং রবার নলটি পুরাপুরি পারদপূর্ণ। B কাচনলের পারদস্তম্ভের উপরে কিছু বায়ু আবদ্ধ। বায়ু একপ্রকার গ্যাস বলিয়া বায়ুদ্বারা বয়েলের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা করা হইবে। B কাচনলটি সমব্যাসযুক্ত হওয়ায় পারদস্তম্ভের উপরতল হইতে B নলের প্রান্ত পর্যন্ত দৈর্ঘ্য বায়ুর আয়তনের পরিমাপস্বরূপ ধরা যাইবে। আবার কোন কোন যন্ত্রে B নলের গায়ে আয়তনসূচক স্কেল কাটা থাকে। এই স্কেল হইতে সরাসরি B নলের বায়ুর আয়তন জানা যায়।

কার্যপ্রণালী ঃ

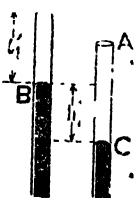
A নলটিকে এমন উচ্চতায় রাখ যে উভয় নলে পারদস্তম্ভ এক সমতলে থাকে। এই অবস্থায় B-নলে আবদ্ধ বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হইবে। স্কেল হইতে B-নলে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। মনে কর, দৈর্ঘ্য l এবং চাপ H (ব্যারোমিটার হইতে প্রাপ্ত)।

এইবার আস্তে আস্তে A নলকে কিছু উপরে তোল। এই অবস্থায় A-নলের পারদস্তম্ভ B-নলের পারদস্তম্ভ হইতে উঁচুতে থাকিবে এবং B-নলের বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের বেশী হইবে। ধর, এই অবস্থায় পারদস্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতার প্রভেদ h_1 [চিত্র 5ছ (i)]। সুতরাং B-নলের বায়ুর চাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ + h_1 পারদস্তম্ভের চাপ = $H+h_1$. এখন B নলের আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ধর, ইহা l_1. এইরূপে A-নলের পারদস্তম্ভকে B-নলের পারদস্তম্ভ হইতে উঁচুতে রাখিয়া কয়েকবার পাঠ লও। পরবর্তী পাঠগুলিতে যদি বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ও চাপ যথাক্রমে l_2, l_3 এবং $(H+h_2), (H+h_3)$ হয় তবে দেখা যাইবে যে,

চিত্র 5ছ (i)

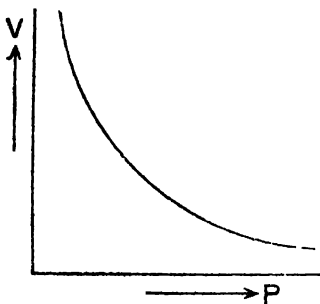
$$Hl = (H+h_1)\,l_1 = (H+h_2)\,l_2 = \cdots \text{ইত্যাদি।}$$

ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা বেশী চাপে বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য।

এইবার প্রমাণ করিতে হইবে যে বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম চাপেও বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য। এইজন্য A-নলকে নামাইয়া এমন জায়গায় রাখ যাহাতে A-নলের পারদস্তম্ভ B-নলের পারদস্তম্ভের নীচে থাকে। কোন এক অবস্থায়, ধর, পারদস্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতার পার্থক্য h'_1 হইল [চিত্র 5ছ (ii)]।

চিত্র 5ছ (ii)

সুতরাং B-নলে বায়ুচাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ − h'_1 পারদ-স্তম্ভের চাপ = $H - h'_1$. এখন B-নলের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ধর, এই দৈর্ঘ্য l'_1. এইরূপে A-নলের পারদস্তম্ভকে B-নলের পারদস্তম্ভ অপেক্ষা নীচুতে রাখিয়া কয়েকবার পাঠ লও। পরবর্তী পাঠগুলিতে যদি বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ও চাপ যথাক্রমে l'_2, l'_3 এবং $(H - h'_2)$, $(H - h'_3)$ হয়, তবে দেখা যাইবে যে,

$$Hl = (H - h'_1)\, l' = (H - h'_2)\, l'_2 = \cdots \text{ইত্যাদি।}$$

মন্তব্য : প্রত্যেকবার বায়ুর আয়তন এবং চাপ নির্ণয় করিয়া উহাদের গুণফলকে ধ্রুবক দেখাইবার পরিবর্তে লেখচিত্রের (graph) সাহায্যেও বয়েলের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা করা যায়। বয়েলের সূত্র সত্য ধরিয়া লইলে আমরা জানি PV = ধ্রুবক অর্থাৎ, আয়তন ও চাপের একটি লেখ-চিত্র আঁকিলে উহা উক্ত সমীকরণ অনুযায়ী ৫ছ (iii) চিত্রের মতন একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) হওয়া উচিত। এখন পরীক্ষালব্ধ আয়তন ও চাপগুলি একটি ছক কাগজে (squared paper) ফেলিয়া লেখ আঁকিলে উহা যদি আয়তাকার পরাবৃত্ত হয় তবে বুঝিতে হইবে যে বয়েলের সূত্র সত্য। এই ধরনের লেখ-কে উক্ত গ্যাসের **সম-উষ্ণতা লেখ** (isothermal) বলা হয়।

চিত্র ৫ছ (iii)
সম-উষ্ণতা লেখ

উদাহরণ :

(1) 0°C তাপমাত্রায় ও 10 বায়ুমণ্ডল চাপে 10 litres বায়ুর আয়তন বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে ও তাপমাত্রায় কত litre হইবে ?

[What will be the volume in litre of air at normal temperature and pressure if it occupies 10 litres at 0°C and 10 atmosphere pressure ?]

উ। স্বাভাবিক তাপমাত্রা 0°C হওয়াতে উভয়ক্ষেত্রে তাপমাত্রা একই থাকিতেছে। সুতরাং এস্থলে বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করা যাইবে।

আমরা জানি, $P_1V_1 = P_2V_2$

এক্ষেত্রে, $P_1 = 10$ atmospheres , $V_1 = 10$ litres ,

$P_2 = 1$ atmosphere , (বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ) এবং $V_2 = ?$

কাজেই $10 \times 10 = 1 \times V_2$

$\therefore\ V_2 = 100$ litres.

(2) 31·4 c.c. আয়তনযুক্ত একটি আবদ্ধ কাচপাত্র বায়ুপূর্ণ করা হইল। পরে ঐ বায়ুকে 5 cm দীর্ঘ ও 1 mm ব্যাসযুক্ত একটি সরু নলে ঢুকানো হইল। ইহাতে বায়ু-চাপ দেখা গেল 4 cm পারদস্তম্ভের সমান। কাচপাত্রে থাকাকালীন বায়ুচাপ কত ছিল ?

[The air in a bulb of 31·4 c.c. capacity is compressed into a narrow tube 5 cm. long and 1 mm. diameter and the pressure of air in the narrow tube is found to be 4 cm. of mercury. What was the pressure of air in the bulb ?]

উ। মনে কর, কাচপাত্রে থাকাকালীন বায়ুচাপ = H cm পারদস্তম্ভের সমান।

এখন, সরু নলের আয়তন $= \pi r^2 \times l$

$$= 3{\cdot}14 \times (\cdot 05)^2 \times 5 \text{ c.c.}$$

আমরা জানি $P_1V_1 = P_2V_2$

এক্ষেত্রে, $P_1 = H$, $V_1 = 31{\cdot}4$ c. c. , $P_2 = 4$ cm. of mercury , $V_2 = 3{\cdot}14 \times (\cdot 05)^2 \times 5$ c. c.

কাজেই, $H \times 31{\cdot}4 = 3{\cdot}14 \times (\cdot 05)^2 \times 5 \times 4$

অথবা $H = \dfrac{3{\cdot}14 \times (\cdot 05)^2 \times 5 \times 4}{31{\cdot}4} = \cdot 005$ cm. of mercury.

(3) একটি ভাল ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা 75 cm.; 1 c.c. বায়ু ব্যারোমিটারের ভিতর ঢুকাইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা 70 cm. হয়। পারদস্তম্ভের উপরের অংশের আয়তন নির্ণয় কর (ব্যারোমিটার নলের প্রস্থচ্ছেদ 1 sq.cm.)।

[A good barometer reads 75 cm. On admitting 1 c. c. of air, the reading is 70 cm. Find the volume of the space above the mercury at the end. The cross-section of the barometer tube is 1 sq. cm.]

উ। মনে কর, বায়ু ঢুকাইবার পর পারদস্তম্ভের উপরের অংশের দৈর্ঘ্য হইল x cm.

সুতরাং, ঐ বায়ুর আয়তন $= x \times 1$ c c

এখন, এই বায়ু পারদস্তম্ভের উপর যে চাপ প্রয়োগ করিতেছে তাহা $(75-70) = 5$ cm. পারদস্তম্ভের সমান।

এই বায়ুর পূর্বের আয়তন ও চাপ যথাক্রমে 1 c.c. এবং 75 cm পারদস্তম্ভ ছিল। সুতরাং বয়েলের সূত্র হইতে লেখা যাইবে যে,

$$x \times 1 \times 5 = 75 \times 1$$

or, $\quad x = 15$ cm.

সুতরাং পারদস্তম্ভের উপরের অংশের আয়তন $= 15 \times 1$ c.c. $= 15$ c.c

(4) 1 sq. cm প্রস্থচ্ছেদ-যুক্ত একটি ব্যারোমিটার নলে একটি বায়ুর বুদ্‌বুদ্‌ ঢুকানো হইলে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা 75 cm. হইতে কমিয়া 65 cm. হয়। বুদ্‌বুদ্‌টি ঢুকাইবার পূর্বে পারদস্তম্ভের উপরের শূন্যস্থানের দৈর্ঘ্য 6 cm. থাকিলে বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে ঐ বুদ্‌বুদ্‌টির আয়তন কত হইবে নির্ণয় কর।

[A bubble of air is introduced into the space above the mercury of a good barometer, 1 sq. cm. in cross-section, and the mercury column falls from 75 cm. to 65 cm. If the space before the introduction of air was 6 cm. long, calculate the volume which the introduced air will occupy at normal atmospheric pressure.] [*H. S. Exam 1960*]

উ। পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য-হ্রাস $= 75 - 65 = 10$ cm.

সুতরাং বায়ু-অধিকৃত স্থানের দৈর্ঘ্য $= 10 + 6 = 16$ cm.

ঐ বায়ুর আয়তন $= 16 \times 1 = 16$ c.c.

এবং " " চাপ $= (75 - 65) = 10$ cm. of mercury.

যদি মনে করা যায় বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে (76 cm. of Hg) নির্ণেয় আয়তন x c.c., তবে বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

$$x \times 76 = 16 \times 10$$

$$\therefore \quad x = \frac{16 \times 10}{76} = 2.105 \text{ c.c.}$$

(5) কোন জলাশয়ের তলদেশ হইতে উপরতলে আসিতে একটি বুদ্‌বুদের আয়তন পাঁচগুণ বৃদ্ধি পাইল। ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা 30 inches হইলে জলাশয়ের গভীরতা কত ? পারদের ঘনত্ব $= 13.6$ gms c.c.]

[The volume of an air bubble increases five-fold in rising from the bottom of a lake to the surface. If the barometric height be 30 inches, find the depth of the lake. Density of mercury $= 13.6$ gms/c c.]

উ। বায়ুমণ্ডলের চাপ জলস্তম্ভের দ্বারা প্রকাশ করিলে উহার উচ্চতা হইবে $= 30 \times 13.6$ inches.

যদি জলাশয়ের গভীরতা h inches ধরা হয় তবে, উহার তলদেশে মোট চাপ $=$ বায়ুমণ্ডলের চাপ $+$ জলস্তম্ভের চাপ

$= (30 \times 13.6 + h)$ inches of water.

তলদেশে থাকাকালীন বুদ্‌বুদের আয়তন V ধরিলে বয়েলের সূত্রানুযায়ী আমরা লিখিতে পারি,

$$(30\times 13{\cdot}6+h).V=5V\times 30\times 13{\cdot}6$$

$$\text{or,}\quad 408+h=2040$$

$$\therefore\quad h=1632 \text{ inches}$$

$$=136 \text{ ft.}$$

(6) একটি খালি খোলামুখ বোতলের মুখ নীচু দিকে করিয়া সমুদ্র জলে (আ: গু: = 1·03) ডুবানো হইল। কত গভীরে ডুবাইলে বোতলটির আভ্যন্তরীণ আয়তনের $\frac{1}{4}$ অংশ জলে ভর্তি হইবে? বায়ুমণ্ডলের চাপ 30 inches পারদস্তম্ভের সমান।

[An open bottle is immersed upside down in sea-water (sp. gr. = 1·03). To what depth is it to be immersed so that $\frac{1}{4}$ of its volume is filled up by water? The atmospheric pressure is 30 inches of mercury.]

উ। মনে কর নির্ণেয় গভীরতা $= h$ inches এবং বোতলের আয়তন $= V$. খালি অবস্থায় বোতলের সম্পূর্ণ আয়তন বায়ু দ্বারা অধিকৃত এবং ইহার চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান।

'h' গভীরতায় বায়ুর আয়তন $=\frac{3V}{4}$ এবং উহার চাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ + h inches জলস্তম্ভের চাপ $=30\times 13{\cdot}6+h\times 1{\cdot}03$

অতএব বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

$$V\times 30\times 13{\cdot}6=\frac{3V}{4}\times(30\times 1{\cdot}36+h\times 1{\cdot}03)$$

$$\text{or,}\quad 30\times 13{\cdot}6-\tfrac{3}{4}(30\times 13{\cdot}6)=\frac{3\times h\times 1{\cdot}03}{4}$$

$$\therefore\quad h=\frac{30\times 13{\cdot}6}{3\times 1{\cdot}03}\text{ inches}$$

$$=\frac{30\times 13{\cdot}6}{3\times 10{\cdot}3\times 12}\text{ ft.}$$

$$=11{\cdot}2 \text{ ft.}$$

(7) একটি 6 ft. লম্বা একমুখী নলের অর্ধেক পারদপূর্ণ করা হইল। নলের খোলামুখ হাত দিয়া চাপিয়া নলটিকে উল্টাইয়া একটি পারদপূর্ণ পাত্রে খোলামুখ ঢুকাইয়া দেওয়া হইল। ব্যারোমিটারের উচ্চতা 30 inches হইলে খাড়া অবস্থায় ঐ নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা কত হইবে ?

[A tube 6 ft. in length, closed at one end, is half-filled with mercury and is then inverted with its open end just dipping into a mercury trough. If the barometer stands at 30 inches, what will be the height of mercury inside the tube ?]

উ। নলের দৈর্ঘ্য $=6$ ft $=72$ inches ; ধর, নলের প্রস্থচ্ছেদ $=\alpha$. সুতরাং নলের অর্ধেক পারদপূর্ণ করা হইলে বাকি অর্ধেকে যে বায়ু আছে তাহার আয়তন $=\frac{72}{2}.\ \alpha=36.\ \alpha$. এই বায়ুর চাপ $=30$ inches.

এখন, নলটিকে উল্টাইলে, ধর, পারদস্তম্ভ 'h' উচ্চতায় থাকিল। সুতরাং বায়ু-অধিকৃত স্থানের দৈর্ঘ্য $=(72-h)$ inches এবং ঐ বায়ুর আয়তন $=(72-h)\ \alpha$. ঐ বায়ু যে চাপ প্রদান করে তাহা $=(30-h)$ inches.

অতএব বয়েলের সূত্রানুসারে,

$$36.\ \alpha.\ 30=(72-h)\ \alpha.\ (30-h)$$

$$\text{or,}\quad 36.\ 30=(72-h)(30-h)$$

$$\text{or,}\quad h^2-102h+1080=0$$

$$\text{or,}\quad (h-90)(h-12)\ =0$$

$$\therefore\quad h=90 \text{ inches অথবা } 12 \text{ inches.}$$

কিন্তু নলের মোট দৈর্ঘ্য 72 inches হওয়ায় $h=90$ inches হওয়া সম্ভব নয়। সুতরাং নলের অভ্যন্তরস্থ পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $=12$ inches.

(8) দুই বিভিন্ন সময় যখন একটি ত্রুটিহীন ব্যারোমিটারের পাঠ $28\frac{1}{2}$ inches এবং 31 inches তখন একটি ত্রুটিপূর্ণ ব্যারোমিটারের পাঠ যথাক্রমে 28 inches এবং 30 inches; যখন ত্রুটিপূর্ণ ব্যারোমিটার 29 inches পাঠ দিবে তখন যথার্থ পাঠ কি হইবে ?

[A faulty barometer reads 28 inches and 30 inches when a true barometer reads $28\frac{1}{2}$ inches and 31 inches respectively. Find the true reading when the faulty barometer stands at 29 inches.]

উ। যখন ত্রুটিপূর্ণ ব্যারোমিটারের পাঠ 28 inches, তখন, মনে কর, পারদস্তম্ভের উপরকার বায়ুর দৈর্ঘ্য l inches, অতএব উহার আয়তন $= l \times \alpha$

[α = নলের প্রস্থচ্ছেদ]

ঐ বায়ুর চাপ = ত্রুটিহীন ব্যারোমিটারের উচ্চতা − ত্রুটিপূর্ণ ব্যারোমিটারের উচ্চতা

$$= 28\tfrac{1}{2} - 28 = \tfrac{1}{2} \text{ inch.}$$

আবার যখন ত্রুটিপূর্ণ ব্যারোমিটার পাঠ 30 inches, তখন পারদস্তম্ভের উপরকার বায়ুর দৈর্ঘ্য $= l - (30 - 28) = (l - 2)$ inches এবং উহার চাপ $= 31 - 30 = 1$ inch. কাজেই বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

$$\tfrac{1}{2} l \times \alpha = 1 \times (l - 2)\alpha.$$

$$\therefore \quad l = 4 \text{ inches.}$$

সবশেষে যখন ত্রুটিপূর্ণ ব্যারোমিটার 29 inches পাঠ দিতেছে তখন বায়ুর দৈর্ঘ্য $= l - (29 - 28) = 4 - 1 = 3$ inches. তখনকার ব্যারোমিটার পাঠ যদি P inches হয়, তবে ঐ বায়ুর চাপ $= (P - 29)$ inches.

$$\therefore \quad \tfrac{1}{2} l \times \alpha = 3\alpha . (P - 29)$$

$$\text{or,} \quad \tfrac{1}{2} \times 4 = 3(P - 29)$$

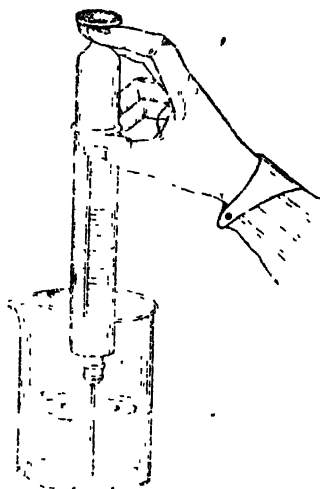
$$\text{or,} \quad P = 29 + \tfrac{2}{3} = 29\tfrac{2}{3} \text{ inches.}$$

5-10 বায়ুচাপ সংক্রান্ত যন্ত্র (Air pressure machines) :

বায়ুমণ্ডলের চাপকে অবলম্বন করিয়া কতকগুলি যন্ত্র তৈয়ারী হইয়াছে। এই যন্ত্রগুলির সাধারণ নীতি হইতেছে নিম্নরূপ :

একটি বায়ু-নিরুদ্ধ পিস্টনের সাহায্যে কোন আবদ্ধ জায়গায় বায়ুর চাপ কমানো হয় এবং বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের সাহায্যে কোন তরলকে ঐ আবদ্ধ জায়গায় ঢুকানো হয়। তরল যাহাতে একদিকেই যাইতে পারে এইজন্য একপ্রকার ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয়, তাহাকে ভাল্‌ভ (valve) বলে। এই ভাল্‌ভ তরলকে একদিকে যাইতে দেয় এবং বিপরীত দিক হইতে তরল আসিলেই ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায়। পিচকারী (syringe), বিভিন্ন ধরনের পাম্প ইত্যাদি যন্ত্র এই নীতিতেই তৈয়ারী।

5-11. পিচ্‌কারী (Syringe) :

একটি কাচের চোঙের একমুখ সূচাল এবং অপরমুখ খোলা। চোঙের ভিতর দিয়া একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টন উপর-নীচে যাতায়াত করিতে পারে। ইহাই পিচ্‌কারী বা সিরিঞ্জ। সূচাল মুখ কোন তরলে ডুবাইয়া পিস্টনটি উপরে টানিলেই চোঙটি তরল দ্বারা পূর্ণ হইয়া যায় (5জ নং চিত্র)।

পিচ্‌কারী বা সিরিঞ্জ
চিত্র 5জ

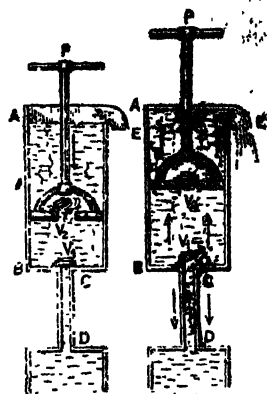
কার্যপ্রণালী : পিস্টনটি উপরের দিকে টানিলে পিস্টনের তলার বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি হয়। ফলে এই বায়ুর চাপ বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা অনেক কমিয়া যায়। পাত্রস্থ তরলের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ পড়িতেছে। এই বেশী চাপের ফলে তরল সূচাল মুখ দিয়া চোঙের ভিতর ঢুকিয়া পড়ে। যখন পিচ্‌কারী তরল হইতে বাহিরে আনা যায় তখন বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বচাপের ফলে তরল সূচাল মুখ হইতে পড়িয়া যায় না। আবার পিস্টনটি নীচের দিকে ঠেলিয়া দিলে চোঙের তরলের চাপ বৃদ্ধি পায়। তখন তরল সূচালমুখ দিয়া বাহির হইয়া আসে।

চিকিৎসকেরা এই ধরনের পিচ্‌কারী দ্বারা ইনজেকসন দেন। ঝরণা কলমে কালি ভরিবার ড্রপার, সরবত খাইবার সরু নালি প্রভৃতি একই নীতি অনুযায়ী কাজ করে।

5-12. শোষণ বা সাধারণ পাম্প (Suction or Common pump) :

ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তর হইতে জল তুলিবার জন্য টিউব-ওয়েলে এই পাম্প ব্যবহার করা হয়।

যন্ত্রের বিবরণ : AB একটি লোহার শক্ত চোঙ (5ঝ নং চিত্র)। চোঙের তলায় অপেক্ষাকৃত সরু একটি নল CD লাগানো থাকে। যে-স্থান

হইতে জল তুলিতে হইবে এই নলটি তাহার ভিতর ডুবানো থাকে। টিউবওয়েলে এই নল মাটির ভিতর জলের স্তর অবধি ঢুকানো থাকে। চোঙটির ভিতর একটি জল-নিরুদ্ধ (water-tight) পিস্টন P উঠা-নামা করিতে পারে। এই পিস্টনটির তলায় একটি গোলাকার চাকতি থাকে এবং ঐ চাকতির মধ্যস্থলে একটি ফুটা দিয়া জল উপরে আসিতে পারে। পিস্টন দণ্ডের সাহায্যে চাকতিটিকে চোঙ বরাবর উঠা-নামা করানো যায়। চোঙটির প্রায় উপরের প্রান্তে একটি খোলা-মুখ E (spout) আছে যাহা হইতে জল বাহির হইয়া আসিতে পারে। V_1 এবং V_2 দুইটি ভাল্‌ভ আছে। ইহারা উপরের দিকে খোলে অর্থাৎ জলকে নীচু হইতে উপরে যাইতে দেয় কিন্তু জল উপর হইতে নীচুতে আসিতে চেষ্টা করিলেই ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায়। V_1 ভাল্‌ভ CD নল ও AB চোঙের সংযোগস্থলে এবং V_2 ভাল্‌ভ পিস্টনের সহিত যুক্ত।

সাধারণ পাম্পের কার্যপ্রণালী
চিত্র 5ঝ

কার্যপ্রণালী :

[5ঝ (a) ও (b) নং চিত্র হইতে ইহার কার্যপ্রণালী বুঝা যাইবে।

ধরা যাউক, যখন পাম্প ক্রিয়া আরম্ভ করিল তখন পিস্টনটি চোঙের সর্বনিম্ন স্থানে আছে এবং ভাল্‌ভ দুইটি বন্ধ। এখন পিস্টনকে উপরের দিকে তুলিলে পিস্টনের তলার বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি পাইবে এবং বায়ুর চাপ অনেক কমিয়া যাইবে। কিন্তু V_2 ভাল্‌ভের উপর নিম্নমুখী চাপ এবং V_1 ভাল্‌ভের উপর ঊর্ধ্বমুখী চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। কারণ পিস্টনের উপরে ও CD নলে সাধারণ বায়ু বর্তমান। ফলে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে কিছু জলও চোঙে পৌঁছাইবে। যতক্ষণ পর্যন্ত পিস্টন সর্বোচ্চস্থানে না যাইবে ততক্ষণ C নল দিয়া বায়ু ও জলের এইরূপ ঊর্ধ্বগতি হয় এবং ইহারা চোঙের কিছু অংশ অধিকার করে।

এখন পিস্টনকে নীচের দিকে নামাইলে AB চোঙের বায়ু ক্রমাগত চাপ

যাইবে এবং যখন ইহার চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের বেশী হইবে তখন V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে এবং বায়ু খোলামুখ দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। খানিকটা জলও পিস্টনের উপর আসিতে পারে। যতক্ষণ পিস্টন নীচেরদিকে নামিবে ততক্ষণ এইপ্রকার ক্রিয়া চলিবে এবং ততক্ষণ V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে।

এইরূপ কয়েকবার পিস্টনকে উঠা-নামা করাইলে জল E-মুখ পর্যন্ত পৌছিবে। তারপর আর একবার পিস্টনকে উপরের দিকে উঠাইলে E-মুখ দিয়া জল বাহির হইয়া আসিবে এবং একবার বাহির হইলে পিস্টনের প্রত্যেক ঊর্ধ্বগতিতে জল E-মুখ দিয়া বাহির হইবে।

মনে রাখিবে যে পিস্টনের নিম্নগতিতে জল পিস্টনের উপর সঞ্চিত হয় এবং ঊর্ধ্বগতিতে ঐ জল E-মুখ দিয়া বাহির হইয়া আসে।

যন্ত্রের সীমা (Limitation of the pump) : পাম্পের কার্যপ্রণালী হইতে বোঝা যায় যে চোঙে জল প্রবেশ করিবার জন্য দায়ী হইতেছে বায়ুমণ্ডলের চাপ। কিন্তু আমাদের জানা আছে যে বায়ুমণ্ডলের চাপ জলকে প্রায় 34 ফুট পর্যন্ত তুলিতে পারে। কাজেই জলাধারের জলতল হইতে চোঙ পর্যন্ত CD নলের উচ্চতা 34 ফুটের বেশী হইলে পাম্প দ্বারা জল তোলা যাইবে না। প্রকৃতপক্ষে এই নল 30 ফুটের বেশী লম্বা করা হয় না।

[**দ্রষ্টব্য** : (1) টিউবওয়েলে অনেক সময় 34 ফুটের অনেক বেশী গভীর পর্যন্ত নল বসাইতে হয়, সেখানে মনে রাখিতে হইবে যে, মাটির ভিতরের জলস্তরের সহিত কাছাকাছি কোন পুকুর, নদী ইত্যাদির সংযোগ আছে। কাজেই ঐ স্থানের জল সমলেভেল রক্ষণের জন্য নলে নদী বা পুকুরের জলের তল পর্যন্ত আপনা আপনিই উঠিবে। কাজেই এক্ষেত্রে দেখিতে হইবে যে মাটি হইতে চোঙ পর্যন্ত নলের উচ্চতা 34 ফুটের কম কি-না।

(2) পিস্টনের চাকতিটিকে চোঙের গা বরাবর বায়ুনিরুদ্ধভাবে চলাচল করাইবার জন্য চাকতির বেড় একটি চামড়ার পটি লাগানো থাকে। ইহাকে 'ওয়াশার' বলে। চামড়ার 'ওয়াশার'টি চোঙের গায়ে বেশ আঁট হইয়া থাকে। কিন্তু কিছুদিন পাম্প ব্যবহার না করিলে চামড়া শুকাইয়া শক্ত হইয়া যায় এবং তখন 'ওয়াশার' আর তেমন আঁট থাকে না। এই অবস্থায় ঐ পাম্প দিয়া আর জল তোলা যায় না।

(3) আবার অনেক সময় দেখা যায় যে পাম্প ঠিকমত কাজ করিতেছে না কিন্তু উপর হইতে চোঙের ভিতর জল ঢালিয়া দিলে পাম্প কাজ করিতে শুরু করে। ইহার কারণ এই যে 'ওয়াশার'টি কোন কারণে পূর্ব হইতেই একটু আলগা ছিল। জল পাইয়া চামড়া ফুলিয়া উঠে এবং তাহাতে 'ওয়াশার' আবার আঁট হইয়া যায়। তখন পাম্প ঠিকমত কাজ করিতে পারে। ইহাকে 'প্রিমিং' (priming) বলে।

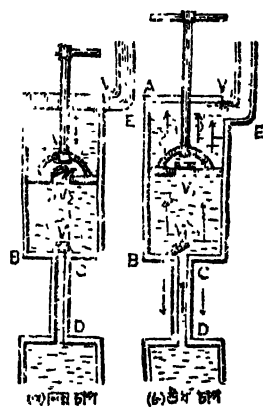
5-13. উত্তোলক পাম্প (Lift Pump): কোন বাড়ীর দোতলা বা তিন তলায় অথবা কোন উঁচু জায়গাতে জল তুলিবার জন্য এই পাম্প ব্যবহৃত হয়।

পাম্পের বিবরণ: এই পাম্প পূর্ববর্ণিত সাধারণ পাম্প-এর মত। কেবল E-মুখটি নীচুদিকে না করিয়া উহার সঙ্গে যুক্ত একটি লম্বা ঊর্ধ্বমুখী নল যেখানে জল তুলিতে হইবে সেই পর্যন্ত পৌঁছাইয়া দেওয়া হয়। E-মুখে একটি ভাল্ভ V_3 থাকে। ইহা বাহিরের দিকে খোলে অর্থাৎ জলকে AB চোঙ হইতে E নলে প্রবেশ করিতে দেয় কিন্তু উল্টা দিক হইতে জল আসিলেই V_3 ভাল্ভ বন্ধ হইয়া যায় (5ঞ নং চিত্র)।

উত্তোলক পাম্পের কার্যপ্রণালী
চিত্র 5ঞ

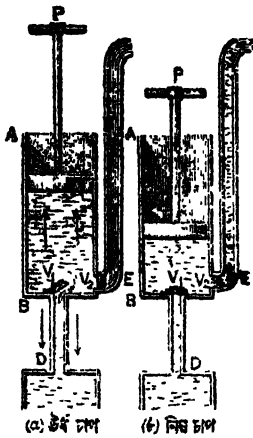
কার্যপ্রণালী:

সাধারণ পাম্পের মত কয়েকবার পিস্টনকে উপর নীচ ওঠা-নামা করাইলে জলাধার হইতে জল চোঙে প্রবেশ করিয়া E মুখ পর্যন্ত আসিবে। পিস্টনের পরের বারের ঊর্ধ্বগতিতে এই জল V_3 ভাল্ভকে খুলিয়া E নলে প্রবেশ করিবে। যতবার পিস্টনের ঊর্ধ্বগতি হইবে ততবারই জল E-নলে প্রবেশ করিবে এবং নল বাহিয়া জল ক্রমশ উপরে উঠিবে। পিস্টনের নিম্নগতির সময় এই জল চোঙে ফিরিয়া আসিতে চেষ্টা করিবে কিন্তু জলের চাপে V_3 ভাল্ভ বন্ধ হইয়া যাওয়ায় জল চোঙে আসিতে পারিবে না।

এখানে লক্ষ্য করিবে যে E-নল বাহিয়া জল উপরে উঠিবার ব্যাপারে বায়ুমণ্ডলের চাপ কোন ক্রিয়া করিতেছে না। কাজেই E-কে ইচ্ছামত লম্বা করিয়া এবং V_3 ভাল্ভকে উচ্চ চাপসহ করিয়া জলকে যে-কোন উচ্চতায় পৌঁছানো

যাইবে। শুধু পিস্টনকে জোরের সহিত উপরের দিকে টানিয়া লইতে হইবে। বৈদ্যুতিক উত্তোলক পাম্পে পিস্টনকে বিদ্যুৎশক্তির সাহায্যে উঠা-নামা করানো হয়।

5-14. ফোর্স-পাম্প (Force Pump) ঃ

আগুন নিভাইবার জন্য জোরে জল ছুঁড়িয়া দিতে এই শ্রেণীর পাম্প ব্যবহৃত হয়। গত যুদ্ধে যে ষ্টিরাপ পাম্প A. R. P. কার্যে ব্যবহৃত হইয়াছিল তাহা এই ফোর্স-পাম্প।

বিবরণ ঃ সাধারণ পাম্পের সহিত এই পাম্পের পার্থক্য এই যে E মুখটি চোঙের প্রায় তলদেশে অবস্থিত এবং উর্ধ্বাভিমুখী। E-মুখে একটি ভাল্‌ভ V_2 লাগানো আছে যাহা জলকে কেবল চোঙ হইতে E নলে প্রবেশ করিতে দেয়। ফোর্স পাম্পের পিস্টনটি নিরেট (solid) এবং ইহাতে কোন ভাল্‌ভ (valve) নাই (5ট নং চিত্র)

ফোর্স পাম্পের কার্যপ্রণালী
চিত্র 5ট

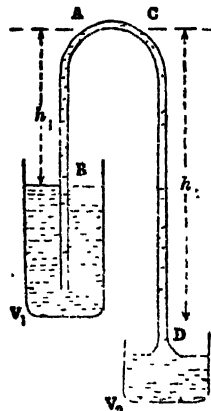
কার্যপ্রণালী ঃ

যখন পিস্টনটির উর্ধ্বগতি হয় তখন V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া গিয়া জলাধার হইতে জল চোঙে প্রবেশ করে। তখন V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকে। কিন্তু পিস্টনের নিম্নাভিমুখী গতির সময় এই জল চাপ খাইয়া V_2 ভাল্‌ভকে খুলিয়া দেয় এবং E নল দিয়া জল বাহির হইয়া যায়; এই সময় V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকে। কাজেই পিস্টনকে যদি খুব জোরে নীচের দিকে ঠেলিয়া দেওয়া যায় তবে E মুখ দিয়া জলও খুব জোরে বাহির হইয়া অনেক দূর পর্যন্ত যাইবে।

এখানে লক্ষ্য রাখিবে যে জলাধার হইতে চোঙে জল টানিয়া লইবার সময় এই পাম্প সাধারণ পাম্পেরই মত কাজ করে। সুতরাং সাধারণ পাম্পের সীমা সর্ত (conditions of limitations) এখানেও প্রযোজ্য। কিন্তু যে জোরের সহিত এই জল বাহির হইবে তাহা পিস্টনের শক্তি ও পিস্টনের উপর প্রযুক্ত নিম্নাভিমুখী বলের উপর নির্ভর করে।

5-15. সাইফন (Siphon)

পাত্রকে সরাসরি না নড়াইয়া এক পাত্র হইতে অন্য পাত্রে তরলের স্থানান্তর বা তলানীযুক্ত তরল পদার্থ হইতে পরিষ্কার তরলকে স্থানান্তরিত করা ইত্যাদি কার্যে সাইফন ব্যবহৃত হয়।

বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ঃ একটি U আকারের কাচ বা রবার নলকে সাইফন হিসাবে ব্যবহার করা যাইতে পারে। **সাইফনে এক বাহু অপর বাহু অপেক্ষা লম্বা হওয়া প্রয়োজন।** যে তরল স্থানান্তরিত করিতে হইবে প্রথমে নলটি সেই তরলদ্বারা পূর্ণ কর। নলের খোলা মুখ দুইটি আঙ্গুল দ্বারা বন্ধ করিয়া ছোট বাহু তরলপূর্ণ পাত্রে ডুবাইয়া দাও এবং বড় বাহু খালি পাত্রে রাখ। আঙুল সরাইয়া লইলে তরলপূর্ণ পাত্র হইতে তরল নল বাহিয়া ক্রমাগত খালি পাত্রে জমা হইবে (59 নং চিত্র)।

সাইফনের কার্যপ্রণালী
চিত্র 59

কার্যপ্রণালীর ব্যাখ্যা ঃ

একই অনুভূমিক রেখায় তরলের ভিতর A এবং C দুইটি বিন্দু লও।

A বিন্দুতে চাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ − AB তরলস্তম্ভের চাপ

$$= P - h_1 d g.$$

[P = বায়ুমণ্ডলের চাপ, d = তরলের ঘনত্ব, h_1 = V_1 পাত্রস্থ তরলতল হইতে A বিন্দুর উচ্চতা।]

এইভাবে C বিন্দুতে চাপ $= P - h_2 d.g.$

যেহেতু $h_1 < h_2$, $(P - h_1 d g.) > (P - h_2 d g.)$

অর্থাৎ A বিন্দুতে চাপ C বিন্দু অপেক্ষা বেশী। কাজেই সর্বদা তরল A বিন্দু হইতে C বিন্দুতে যাইবে এবং বড় বাহু বাহিয়া V_2 পাত্রে পড়িবে। কিন্তু যেই A বিন্দু হইতে তরল সরিয়া গেল সঙ্গে সঙ্গে বায়ুমণ্ডলের চাপে V_1 পাত্র হইতে আরও তরল ছোট বাহু বাহিয়া A বিন্দুতে পৌছাইবে। এই ভাবে ক্রমাগত তরল V_1 পাত্র হইতে নল বাহিয়া V_2 পাত্রে জমা হইবে।

সাইফন ক্রিয়ার শর্ত :

(1) h_1 উচ্চতা সর্বদা h_2 উচ্চতার কম হইতে হইবে। কারণ $h_1 = h$ হইলে A বিন্দুর চাপ = C বিন্দুর চাপ হইবে এবং কোন তরল A হইতে C বিন্দুতে যাইবে না এবং সাইফন-ক্রিয়া বন্ধ হইবে।

(2) বায়ুমণ্ডলের চাপ তরলকে যে উচ্চতা পর্যন্ত তুলিতে পারে তাহা অপেক্ষা h_1 কম হওয়া প্রয়োজন। কারণ A বিন্দু পর্যন্ত তরলকে পৌঁছাইয়া দেয় বায়ুমণ্ডলের চাপ। জলের বেলাতে h_1-এর উচ্চতা 34 ফুটের কম হওয়া প্রয়োজন।

(3) বায়ুশূন্য স্থানে সাইফন-ক্রিয়া হয় না। কারণ বায়ুশূন্য স্থানে AB নলের তরল V_1 পাত্রে এবং CD নলের তরল V_2 পাত্রে পড়িয়া যাইবে এবং আর কোন তরল নল বাহিয়া উঠিবে না। সেই হেতু সাইফন-ক্রিয়াও বন্ধ হইয়া যাইবে।

উদাহরণ :

1·02 আপেক্ষিক গুরুত্বসম্পন্ন একটি তরলকে সাইফন ক্রিয়ার সাহায্যে একটি বাধা অতিক্রম করাইয়া আনিতে হইবে। বাধার উচ্চতা সর্বাপেক্ষা কত বেশী করা যাইতে পারে যাহাতে সাইফন ক্রিয়া সত্ত চালু থাকে? বায়ুমণ্ডলের চাপ = 30 inches পারদস্তম্ভ।

[It is required to siphon a liquid (sp. gr. = 1·02) over an obstacle. What must be the limiting height of the obstacle which will render siphoning just possible? Atmospheric pressure = 30 inches of mercury.]

উ। বায়ুমণ্ডলের চাপ তরলকে যে-উচ্চতা পর্যন্ত তুলিতে পারিবে তাহাই হইবে বাধার সর্বাধিক উচ্চতা। বাধার উচ্চতা তদপেক্ষা বেশী হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপ তরলকে ঐ উচ্চতা পর্যন্ত পৌঁছাইয়া দিতে পারিবে না; কাজেই সাইফন ক্রিয়াও চালু থাকিবে না।

ধরা যাক নির্ণেয় উচ্চতা = h inches, এক্ষেত্রে h inches উচ্চ তরল-স্তম্ভের চাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ।

এখন, বায়ুমণ্ডলের চাপ $= 30 \times \frac{13.6 \times 62.5}{(12)^3} \times g$ poundal/sq. inch.

এবং তরলের চাপ $= h \times \frac{1.02 \times 62.5}{(12)^3} \times g$ „ „

$$\therefore \quad h \times \frac{1.02 \times 62.5}{(12)^3} \times g = 30 \times \frac{13.6 \times 62.5}{(12)^3} \times g$$

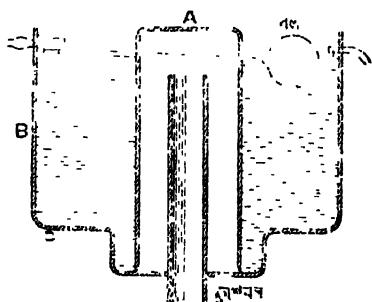
$$\text{or,} \quad h = \frac{30 \times 13.6}{1.02} \text{ inches.}$$

$$= \frac{30 \times 13.6}{1.02 \times 12} \text{ ft.} = 33.3 \text{ ft (প্রায়)}$$

সুতরাং বাধার সর্বাধিক উচ্চতা = 33.3 ft. (প্রায়)

সাইফনের প্রয়োগ ঃ

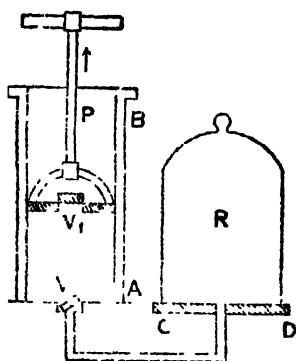
স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ (Automatic flush) ঃ কলিকাতা, বোম্বাই প্রভৃতি বড় বড় শহরে পায়খানা, প্রস্রাবাগার পরিষ্কার করিবার জন্য স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ ব্যবহৃত থাকে, তাহা তোমরা দেখিয়া থাকিবে। একটি শিকল টানিলে প্রবলবেগে জল বাহির হইয়া পায়খানা প্রভৃতি পরিষ্কার হবে। এই স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থা সাইফনের প্রয়োগের ফলে সম্ভব হইয়াছে।

B একটি জলাধার [5৯ (1) নং চিত্র]। ইহা পায়খানা বা প্রস্রাবাগারের ছাদের একটু নীচে দেওয়ালের সহিত আটকানো থাকে। এই আধার হইতে একটি পাইপ বাহির হইয়া আসিয়াছে। ইহাকে ফ্লাশনল বলে। A একটি ঢাকনী - একটি শিকল ইহার সহিত যুক্ত। এই শিকল টানিলে ঢাকনাটি উঁচুতে উঠে। সাধারণ অবস্থায় ঢাকনাটি জলাধারের জলকে ফ্লাশনলের মুখ পর্যন্ত উঠিতে দেয় না। যেই শিকল টানা হয় তখন ঢাকনাটি উঁচুতে উঠে এবং জল দ্রুতবেগে ফ্লাশনলের মুখ পর্যন্ত উঠিয়া সাইফন-ক্রিয়ার ফলে

স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ

চিত্র 5৯ (1)

প্রবলবেগে নল বাহিয়া বাহির হইয়া আসে। যতক্ষণ পর্যন্ত না জলাধার জলশূন্য হয় ততক্ষণ জলের তোড়ে ঢাকনাটি পড়িয়া যায় না। এই ট্যাঙ্কে একটি লিভারদণ্ডযুক্ত বল থাকে (চিত্র দেখ)। ট্যাঙ্কে যত জল জমা হইতে থাকে তত বলটি উপরে ভাসিয়া উঠে এবং লিভারদণ্ডকে ক্রমশ ঘুরাইতে

থাকে। লিভারদণ্ডের অপরপ্রান্তে একটি ভাল্‌ভ থাকে। ট্যাঙ্কে জল একটি নির্দিষ্ট লেভেলে পৌঁছাইলে লিভারদণ্ড কর্তৃক ঐ ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায় এবং ট্যাঙ্কে আর জল পড়ে না। পুনরায় শিকল টানিয়া ফ্লাশনল দিয়া জল বাহির করিয়া দিলে বলটি নীচে পড়িয়া যাইবে এবং লিভারদণ্ড পূর্বোক্ত ভাল্‌ভকে খুলিয়া দিবে এবং ট্যাঙ্কে জল জমিতে শুরু হইবে। এইভাবে সমগ্র ব্যবস্থাটি স্বয়ংক্রিয় ভাবে চলিতে থাকে।

5-16. বায়ু নিষ্কাশক পাম্প (The exhaust pump or the air pump) ঃ

ক। নিষ্কাশক পাম্পের নক্সা

চিত্র 5ড

বায়ুপূর্ণ কোন বদ্ধস্থানের বায়ুকে বাহির করিয়া লইবার জন্য এই পাম্প ব্যবহৃত হয়। 1650 খ্রীষ্টাব্দে প্রুশীয় বিজ্ঞানী গেরিক এই পাম্পের উদ্ভাবন করেন।

বিবরণ ঃ 5ড নং চিত্রে এই পাম্পের ছবি দেখানো হইল। AB একটি ধাতব চোঙ। ইহার মধ্য দিয়া একটি পিস্টন P বায়ুনিরুদ্ধভাবে উপরে বা নীচে যাতায়াত করিতে পারে। CD একটি গোল প্লেট। ইহাকে পাম্পের রেকাবী (disc) বলে। ইহার মাঝখানে একটি ছিদ্র আছে। AB চোঙের নীচের একটি ছিদ্রের সহিত রেকাবীর এই ছিদ্র একটি রবার নলদ্বারা যুক্ত। রেকাবীর উপর একটি কাচ-পাত্র (R) রাখা আছে। ইহাকে পাম্পের Receiver বলে। এই পাত্রের অভ্যন্তরস্থ বায়ু পাম্প দ্বারা নিষ্কাশন করিতে হইবে। কাচপাত্র ও রেকাবীর জোড়ের মুখ ভেসলীন দিয়া বায়ুনিরুদ্ধ করা হয়। AB চোঙের ছিদ্রের মুখে একটি ভাল্‌ভ V_2 এবং পিস্টনে একটি ভাল্‌ভ V_1 আছে। উভয় ভাল্‌ভই উপরের দিকে খুলিতে পারে অর্থাৎ, বায়ু উপরের দিকে যাইতে পারে কিন্তু উপর হইতে নীচে আসিতে পারে না।

কার্যপ্রণালী ঃ

যখন পিস্টনকে চোঙের সর্বনিম্ন অবস্থান হইতে আস্তে আস্তে টানিয়া উপরে তোলা হয়, তখন পিস্টনের নীচে আংশিক বায়ুশূন্য স্থান সৃষ্টি হয় এবং ঐ স্থানের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা অনেক কম হইয়া পড়ে। ফলে

R-পাত্রের বায়ু (যাহার চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান) V_2-ভাল্‌ভকে খুলিয়া AB চোঙে প্রবেশ করে। বায়ুর এইরূপ প্রবেশ চলিতে থাকিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না পিস্টন চোঙের সর্বোচ্চ স্থানে পৌঁছাইবে। এই সময় পর্যন্ত V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে কারণ পিস্টনের উপরের বায়ু ঐ ভাল্‌ভের উপর বেশী নিম্নমুখী চাপ প্রয়োগ করিবে। সুতরাং পিস্টনের উর্ধ্বগতিতে R-পাত্রের বায়ু আয়তনে বৃদ্ধি পাইয়া সমস্ত চোঙ অধিকার করে।

যখন পিস্টনকে নীচুতে নাবানো হইবে তখন চোঙের বায়ু ক্রমশ চাপ খাইবে এবং যখন বায়ুর চাপ বৃদ্ধি পাইয়া বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপকে ছাড়াইয়া যাইবে তখন V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে এবং ছিদ্র দিয়া চোঙের বায়ু বাহির হইয়া যাইবে। V_2 ভাল্‌ভের উপর জোর নিম্নচাপ পড়ায় এই সময় V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে। সুতরাং পিস্টনের নিম্নগতিতে AB চোঙে অবস্থিত বায়ু নিষ্কাশিত হইবে।

এইভাবে পিস্টনকে ক্রমাগত উপর-নীচ করিলে R-পাত্রের বায়ু ক্রমশ বাহির হইয়া যাইবে এবং অবশেষে উহা প্রায় বায়ুশূন্য হইবে।

এখানে একটা কথা মনে রাখিতে হইবে যে **এই পাম্প দ্বারা R-পাত্র সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য করা যায় না।** কারণ V_2 ভাল্‌ভের কিছু ওজন আছে। উহাকে ঠেলিয়া খুলিবার জন্য কিছু ন্যূনতম বলের প্রয়োজন। ক্রমশ বায়ু নিষ্কাশিত হইয়া অবশেষে সামান্য একটু বায়ু R-পাত্রে থাকিয়া যায় যাহা V_2 ভাল্‌ভকে খুলিবার জন্য ন্যূনতম বলপ্রয়োগ করিতে পারে না।

[**নিষ্কাশনের মাত্রা নির্ণয়** (Calculation of the degree of exhaustion) :

নিষ্কাশক পাম্পের পিস্টনটি ক্রমাগত চালাইলে R-পাত্রটি ধীরে ধীরে বায়ুশূন্য হইবে। পিস্টনের 'n' বার সম্পূর্ণ গতির (একবার উর্ধ্বগতি ও একবার নিম্নগতি— এই দুইটি লইয়া একটি সম্পূর্ণ গতি ধরা হয়) ফলে R-পাত্রে যে বায়ু থাকিবে উহার ঘনত্ব বা চাপের দ্বারা নিষ্কাশনের মাত্রা নির্ণীত হয়। এই ঘনত্ব বা চাপ নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ণয় করা যায়।

মনে কর, A হইতে B পর্যন্ত চোঙের আয়তন $= v$

R পাত্র এবং রবার নলের যুক্ত আয়তন $= V$

R পাত্রের বায়ুর প্রাথমিক ঘনত্ব $= D$

" " " " চাপ $= P$

যখন পিস্টন চোঙের সর্বনিম্ন প্রান্ত হইতে সর্বোচ্চ প্রান্তে যায় তখন R-পাত্র ও রবার নলে যে V আয়তনের বায়ু আছে তাহা প্রসারিত হইয়া চোঙ অধিকার করে এবং উহার আয়তন হয় $(V+v)$। এই প্রসারণের ফলে বায়ুর ঘনত্ব ও চাপ কমিয়া যায়। যদি ঘনত্ব ও চাপ যথাক্রমে D_1 এবং P_1 হয়, তবে যেহেতু বায়ুর ভর একই আছে সেই হেতু লেখা যাইতে পারে,

$$VD=(V+v)\,D_1$$

$$\text{or, } D_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)D \qquad \ldots . (i)$$

আবার, বয়েলের সূত্রানুযায়ী আমরা লিখিতে পারি,

$$P.V=P_1(V+v)$$

$$\text{or, } P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)P \qquad \ldots (ii)$$

এখন পিস্টন B-প্রান্ত হইতে A-প্রান্তের দিকে আসিলে চোঙের বায়ু বাহির হইয়া যাইবে এবং R-পাত্রে ও রবার নলে D_1 ঘনত্বের ও P_1 চাপের বায়ু থাকিয়া যাইবে। পিস্টনের পরবর্তী ঊর্ধ্বগতিতে এই বায়ুর পুনরায় প্রসারণ হইবে এবং $(V+v)$ আয়তন অধিকার করিবে। ফলে ইহার ঘনত্ব ও চাপ আরও কমিয়া যাইবে। যদি উহারা যথাক্রমে D_2 এবং P_2 হয়, তবে পূর্বের ন্যায় লেখা যাইবে যে

$$VD_1=(V+v)D_2$$

$$\text{or, } D_2=\left(\frac{V}{V+v}\right)D_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2.D \quad \text{[(i) সমীকরণ হইতে]}$$

$$\text{এবং } P_1V=P_2(V+v)$$

$$\text{or, } P_2=\left(\frac{V}{V+v}\right)P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2.P \quad \text{[(ii) সমীকরণ হইতে]}$$

এইভাবে পিস্টনের 'n' বার সম্পূর্ণ গতির পর যে-বায়ু R-পাত্রে থাকিয়া যাইবে উহার ঘনত্ব এবং চাপ যথাক্রমে D_n এবং P_n হইলে—

$$D_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n.D$$

$$\text{এবং } P_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n.P$$

উপরোক্ত সমীকরণ দুইটি হইতে সহজে বোঝা যায় যে $\left(\frac{V}{V+v}\right)$-এর মান কখনও শূন্য (zero) হইতে পারেনা—অর্থাৎ D_n বা P_n-এর মান কখনও শূন্য হইবে না। ইহার অর্থ এই যে পিস্টনকে অসংখ্য বার উঠা-নামা করাইলেও R-পাত্র কখনও সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য হইবে না।]

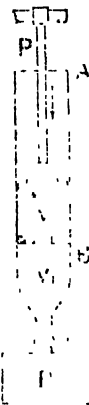
5-17. বায়ু-সংনমন পাম্প (Air condensing or compression pump):

এই পাম্প দ্বারা কোন আবদ্ধ স্থান বায়ুপূর্ণ করা যায়। সুতরাং এই পাম্পের উদ্দেশ্য এবং নিষ্কাশক পাম্পের উদ্দেশ্য ঠিক বিপরীত।

বিবরণ: এই পাম্পের গঠন ঠিক নিষ্কাশক পাম্পেরই মত, শুধু ভাল্ভ দুইটি বিপরীত দিকে খোলে অর্থাৎ বায়ুকে receiver পাত্রে যাইতে দেয় কিন্তু receiver পাত্র হইতে বাহির হইয়া যাইতে দেয় না।

কার্যপ্রণালী: 5চ নং চিত্রে এই পাম্পের নক্শা দেখানো হইল। যখন P পিস্টনটি B হইতে A অভিমুখে যায় তখন V_2 ভাল্ভ খুলিয়া যায়, কারণ, চোঙের বায়ুচাপ অপেক্ষা বায়ুমণ্ডলের চাপ অধিক। ফলে বাহির হইতে বায়ু পিস্টনের ছিদ্র দিয়া চোঙে প্রবেশ করে এবং AB চোঙ বায়ুপূর্ণ হয়। এই সময় পর্যন্ত V_1 ভাল্ভ বন্ধ থাকে। এইবার P পিস্টনকে নীচের দিকে চালাইলে চোঙের বায়ু সংনমিত হয় এবং ইহার চাপ বৃদ্ধি পায়, ফলে V_2 ভাল্ভ বন্ধ হইয়া যায় এবং V_1 ভাল্ভ খুলিয়া যায়। বায়ু খোল হইতে R-পাত্রে প্রবেশ করে (5চ নং চিত্র)। R-পাত্রটিকে একটি নমনীয় নলের দ্বারা পাম্পের সহিত যুক্ত করা হয়।

বায়ু সংনমন পাম্পের নক্শা

চিত্র 5চ

এইরূপে পিস্টনকে ক্রমাগত উপর-নীচে চালাইলে R-পাত্র ধীরে ধীরে বায়ুপূর্ণ হইবে। যখন R-পাত্র সম্পূর্ণভাবে বায়ুপূর্ণ হয় তখন একটি চাবির সাহায্যে উহার মুখ বন্ধ করিয়া উহাকে পাম্প হইতে বিচ্ছিন্ন করা যায়।

সাইকেলের চাকায় হাওয়া ভর্তি করিবার পাম্প, ফুটবল পাম্প, স্টোভের পাম্প ইত্যাদি বায়ু-সংনমন পাম্পের দৃষ্টান্ত।

[সংনমনের মাত্রা নির্ণয় (Calculation of the degree of compression):

এক্ষেত্রেও পিস্টনের 'n' বার সম্পূর্ণ গতির ফলে R-পাত্রে যে বায়ু জমা হয় উহার ঘনত্ব বা চাপের দ্বারা সংনমনের মাত্রা নির্ণীত হয়। ইহা নিম্নলিখিতরূপে নির্ণয় করা যায়। পূর্বের মত মনে কর,

A হইতে B পর্যন্ত চোঙের আয়তন $= v$

R পাত্র এবং রবার নলের যুক্ত " $= V$

R পাত্রে বায়ুর প্রাথমিক ঘনত্ব $= D$

" " " " চাপ $= P$

'R'-পাত্রের বায়ুর প্রাথমিক ঘনত্ব ও চাপ বায়ুমণ্ডলের ঘনত্ব ও চাপের সমান ধরা যাইতে পারে, কারণ R-পাত্র সাধারণ অবস্থায় বায়ুমণ্ডল দ্বারা অধিকৃত থাকে। এখন পিস্টন চোঙের সর্বনিম্ন প্রান্ত হইতে সর্বোচ্চ প্রান্তে গেলে বাহির হইতে বায়ু চোঙ অধিকার করে। ইহার আয়তন ও ঘনত্ব যথাক্রমে v এবং D, সুতরাং ইহার ভর $= v.D$. পিস্টনের নিম্নগতির ফলে এই বায়ু R-পাত্রে ঢুকিয়া পড়িবে এবং উহার আয়তন হইবে V ; R-পাত্রের প্রাথমিক বায়ুর ভর $= V.D$ সুতরাং পিস্টনের একবার পূর্ণ গতির পর R-পাত্রে জমা বায়ুর ভর $= vD + VD$

সুতরাং পিস্টনের 'n' বার পূর্ণগতির পর R-পাত্রে যে বায়ু জমা হইবে উহার মোট ভর $= n\,v\,D + V.D$, কিন্তু ইহার আয়তন V ; কাজেই এই অবস্থায় বায়ুর ঘনত্ব D_n ধরিলে, লেখা যাইতে পারে যে,

$$D_n.V = n\,v.D + V.D$$
$$= (nv + V)\,D$$
$$\therefore \quad D_n = \left(\frac{nv + V}{V}\right) D$$
$$= \left(1 + n\frac{v}{V}\right).D$$

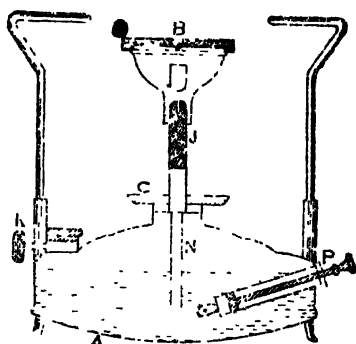
যেহেতু চাপ ও ঘনত্ব সমানুপাতিক কাজেই R-পাত্রের বায়ুর চূড়ান্ত (final) চাপ P_n হইলে আমরা সরাসরি লিখিতে পারি

$$[P_n = \left(1 + n\frac{v}{V}\right) P]$$

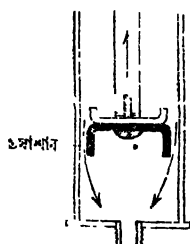
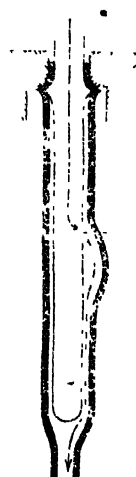
5-18. বায়ু সংনমন পাম্পের প্রয়োগ :

(i) **প্রাইমাস স্টোভ :** স্টোভ একটি নিত্য-ব্যবহার্য বস্তু। প্রায় প্রত্যেক বাড়ীতেই স্টোভ ব্যবহৃত হয়। স্টোভের কার্যপ্রণালীতে বায়ুসংনমন পাম্পের প্রয়োগ দেখিতে পাওয়া যায়।

স্টোভে কেরোসিন তেলের বাষ্পকে জ্বালানো হয়। A একটি তৈলাধার (5৭ নং চিত্র)। এই আধারে পুরাপুরি তেল ভরতি করা হয় না—উপরে খানিকটা জায়গা খালি রাখা হয়। একটি বায়ু-সংনমন পাম্প P এই তৈলাধারের সহিত যুক্ত। K একটি বায়ুনিরুদ্ধ চাবি। এই চাবি বন্ধ

করিয়া দিলে আধারের ভিতরকার বায়ু আবদ্ধ থাকে। এই অবস্থায় পাম্প চালাইলে বর্ধিত বায়ু-চাপের ফলে তেল N-নল বাহিয়া উপরে উঠে এবং একটি সরুমুখ নল J-র নিকট উপস্থিত হয়। এই নলের ভিতর একটি তারের জাল পাকানো (coiled) অবস্থায় রাখা থাকে। তেল এইখানে পৌছিবার পূর্বে যদি তারের জালকে উত্তপ্ত করিয়া রাখা হয় তাহা হইলে তেল উত্তপ্ত তারের জালের ভিতর দিয়া যাইবার সময় বাষ্পে পরিণত হয়। এইজন্য পাম্প চালাইবার পূর্বে C পাত্রে রাখা খানিকটা স্পিরিটে অগ্নিসংযোগ করিয়া তারের জালকে উত্তপ্ত করা হয়। উত্তপ্ত বাষ্প অতঃপর একটি বার্নার B-এ পৌছিয়া জ্বলিতে থাকে। স্টোভ নিভাইতে হইলে K-চাবিটি খুলিয়া দিতে হয়। ইহাতে তৈলাধারের ভিতরস্থ বায়ুর চাপ কমিয়া যায় এবং N-নল বাহিয়া তেল আর উপরে উঠে না। স্টোভ আস্তে আস্তে নিভিয়া যায়।

প্রাইমাস স্টোভ
চিত্র 5গ

(ii) **বাইসাইকেল পাম্প** : সাইকেলের চাকায় হাওয়া ভর্তি করিবার পাম্প বায়ু সংনমন পাম্পের একটি উদাহরণ। এই পাম্পের পিস্টনের সহিত বাটির মত দেখিতে চামড়ার একটি 'ওয়াশার' থাকে। ইহা পিস্টনের

চিত্র 5ঘ

ভাল্‌ভের কাজ করে। যখন পিস্টনের ঊর্ধ্বগতি হয় ওয়াশার এবং

পাম্পের দেওয়ালের ভিতরকার ফাঁক দিয়া বায়ু পাম্পের ভিতর প্রবেশ করে [চিত্র 5থ (i)]। যখন পিস্টনের নিম্নগতি হয় তখন ঐ বায়ু পিস্ট হয় এবং ওয়াশারকে পাম্পের দেওয়ালের গায়ে চাপিয়া ধরে [চিত্র 5থ (ii)। ফলে, ফাঁক বন্ধ হইয়া যায় এবং বায়ু বাহির হইতে না পারিয়া ক্রমাগত চাপ খাইতে থাকে। যখন বায়ু-চাপ খুব বৃদ্ধি পায় তখন ঐ বায়ু টিউবের ভাল্‌ভকে খুলিয়া ফেলে। ইহা একটি খুব সরু ধাতব নল এবং ইহার গায়ে একটি ছিদ্র আছে। একটি রাবার নির্মিত নল দ্বারা ইহা আবৃত (চিত্র 5দ)। এই ব্যবস্থার ফলে বায়ু শুধু একদিকেই যাইতে পারে।

উদাহরণ :

একটি বাইসাইকেল পাম্প দ্বারা সাইকেলের টায়ারে হাওয়া ভর্তি করিতে হইবে। টায়ারটির আয়তন 2 litres, যদি পাম্পটির প্রস্থচ্ছেদ 5 sq cm. হয় এবং পিস্টনের প্রতি স্ট্রোকের দৈর্ঘ্য 20 cm. হয় তবে 40 স্ট্রোকের পর টায়ারের অভ্যন্তরীন বায়ুচাপ কত হইবে? টায়ারের প্রাথমিক বায়ুচাপ ছিল 75 cm. পারদের চাপ।

[Air is compressed into the tyre of a cycle of volume 2 litres by means of a bicycle pump. If the cross-section of the pump is 5 sq cm and the length of each stroke of the piston is 20 cm, what is the pressure inside the tyre after 40 strokes of the pump? The original pressure in the tyre was equal to 75 cm. of mercury.]

উঃ। আমরা জানি, $P_n = \left(1 + n\frac{v}{V}\right)P$

এক্ষেত্রে, P = প্রাথমিক বায়ুচাপ = 75 cm. পারদের চাপ

n = স্ট্রোক সংখ্যা = 40

v = পাম্পের আয়তন = 5×20 cc.

V = টায়ারের আয়তন = 2 litres = 2000 cc.

কাজেই, $P_n = \left(1 + 40 \times \frac{5\times 20}{2000}\right) \times 75$ cm. of mercury

$= (1+2) \times 75$ cm. of mercury

$= 225$ cm. of mercury

সারাংশ

বায়ুমণ্ডলের চাপ :—পৃথিবীকে ঘিরিয়া যে বায়ুমণ্ডল আছে তাহা পৃথিবীর উপর যে চাপ প্রদান করে তাহাকে বায়ুমণ্ডলের চাপ বলে। প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে এই চাপের পরিমাণ প্রায় 14.7 পাউণ্ড। ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক পরীক্ষা দ্বারা বায়ুমণ্ডলের চাপ সুন্দরভাবে দেখানো যায়।

টরিসেলির পরীক্ষা :—এই পরীক্ষা দ্বারা বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাপ করা যায়। একটি এক মিটার লম্বা এবং এক মুখ বন্ধ কাচের নল পারদপূর্ণ করিয়া অপর একটি পারদপাত্রে উপুড় করিয়া নলের খোলা মুখ পারদে ডুবাইয়া রাখিলে নলে যে পারদ স্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে তাহা বায়ুমণ্ডলের চাপের দরুন। সমুদ্র-স্তরে শূন্য ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেডে এই পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা 76 সেণ্টিমিটার।

ব্যারোমিটার :—বায়ুচাপমাপক যন্ত্রকে ব্যারোমিটার বলে। Fortin's ব্যারোমিটার দ্বারা সাধারণত পরীক্ষাগারে বায়ুচাপ মাপা হয়। টরিসেলির পরীক্ষায় যে ব্যবস্থা করা হয় তাহারই কিছু পরিবর্ধন করিলে Fortin's ব্যারোমিটার তৈয়ারী হয়। ব্যারোমিটার পাঠ দ্বারা আবহাওয়ার পূর্বাভাস মোটামুটি জানা যায়। ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা দ্রুত কমিলে ঝড়ের সম্ভাবনা ও আস্তে আস্তে কমিলে বৃষ্টির সম্ভাবনা থাকে। পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা ধীরে ধীরে বাড়িলে শুষ্ক আবহাওয়ার সম্ভাবনা থাকে।

বয়েলের সূত্র :—তাপমাত্রা স্থির রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে ঐ গ্যাসের আয়তন চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

বায়ুচাপ সংক্রান্ত যন্ত্র : এই যন্ত্রগুলির নীতি এক : কোন একটি আবদ্ধ স্থানে বায়ুর চাপ কমাইয়া বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপ দ্বারা সেই স্থানে তরল ঢুকাইয়া দেওয়াই হইতেছে এই যন্ত্রগুলির মোটামুটি নীতি।

(1) পিচকারী, (2) সাধারণ বা শোষণ পাম্প, (3) উত্তোলক পাম্প (4) ফোর্স পাম্প, (5) সাইফন, (6) বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প, (7) বায়ু-সংনমন পাম্প—এইগুলিই বায়ুচাপ সংক্রান্ত যন্ত্র।

প্রশ্নাবলী

1. বায়ুমণ্ডলের চাপ আছে—তাহা পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও। বায়ুমণ্ডলের চাপের সহিত তরলের চাপের কি সাদৃশ্য আছে ?

[Prove by means of experiments that atmosphere exerts pressure. What analogy has the atmospheric pressure with liquid pressure ?]

2. টরিসেলির পরীক্ষা বর্ণনা কর। এই পরীক্ষা দ্বারা বায়ুমণ্ডলের চাপ কিরূপে মাপা যায়?

[Describe Torricelli's experiment. How can the atmospheric pressure be measured by this experiment?]

3. টরিসেলির শূন্যস্থান কাহাকে বলে? ইহা কি সত্য সত্যই শূন্য?

নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কি ঘটিবে তাহা কারণসহ বর্ণনা কর:—(a) একটি 50 inches দীর্ঘ একমুখ বন্ধ কাচ-নল পারদপূর্ণ করিয়া অপর একটি পারদপূর্ণ পাত্রে খোলামুখ ডুবাইয়া খাড়া করিয়া রাখিলে, (b) নলটি আস্তে আস্তে কাত করিলে, (c) ঐ নলটির বদলে একটি মোটা নল লইলে।

[What is Torricelli's vacuum? Is it, strictly speaking, a vacuum?

State giving reasons, what happens in the following cases :—(a) A glass tube 50 inches long, closed at one end, is entirely filled with mercury and inverted vertically over a trough of mercury, (b) the tube is inclined to the vertical, (c) the tube is replaced by another tube with a wider bore.] [H. S. Exam. 1961]

4. 'বায়ুমণ্ডল প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে প্রায় 15 পাউণ্ড চাপ প্রদান করে'-এই বাক্যটি যথাযথ ব্যাখ্যা করিয়া বুঝাইয়া দাও।

['Atmosphere exerts a pressure of about 15 lbs. per square inch'—explain the statement carefully.]

5. ব্যারোমিটার কাহাকে বলে? Fortin's ব্যারোমিটারের বর্ণনা ও কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। জল ব্যারোমিটারের উচ্চতা 32 ft. হইলে গ্লিসারিন ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত হইবে? গ্লিসারিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব = 1.25

[What is a barometer? Describe a Fortin's barometer and explain its action. Calculate the height of the glycerine barometer when that of the water barometer is 32 ft. (Sp. gravity of glycerine = 1.25)]

[H. S. Exam. 1962, '64] [Ans. 25.6 ft]

6. Aneroid ব্যারোমিটার বর্ণনা কর। ইহার সুবিধা কি? ইহার দ্বারা উচ্চতা মাপা যায় কি?

[Describe an Aneroid barometer. What is its advantage? Can it be used to ascertain altitude?]

7. কোনও স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ 760 mm পারদস্তম্ভের সমান—ইহা বলিতে কি বুঝায়? এই চাপের পরিমাণ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে নির্ণয় কর। ঐ স্থানে $g = 980$ সি. জি. এস্. একক এবং পারদের ঘনত্ব = 13.6 gms/c.c.

[Explain the meaning of the statement that the atmospheric pressure at a place is 760 mm of mercury. Calculate its value in the C. G. S. units at a place where $g = 980$ C. G. S. units, the density of mercury being 13.6 gms./c.c.] [H. S. Exam. 1961]

8. ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার পূর্বাভাস কিরূপে জানা যায় ? পারদ ব্যারোমিটার ও জল ব্যারোমিটারের সুবিধা অসুবিধা উল্লেখ কর।

[How can weather-forecasting be done by a barometer ? Mention the advantages and the disadvantages of a mercury barometer and a water barometer.]

9. বয়েলের সূত্র কি ? ইহার সত্যতা কিরূপে নিরূপণ করা যায় ? ব্যারোমিটার না থাকিলে বয়েলের সূত্র পরীক্ষার যন্ত্র দ্বারা ব্যারোমিটার উচ্চতা নির্ণয় করা যায় কি ?

[What is Boyle's law ? How can the law be verified experimentally ? If a barometer were not available, how could you determine the barometric height by means of a Boyle's law apparatus ?] [*H. S. (comp) 1960*]

10. যখন ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 75 cm. তখন পরিমাণ বায়ুর

কত হইবে ?

[A quantity of air is found to occupy 250 cc. when the barometer stands at 75 cm On the next day, the volume of the air changes to 260 c.c What was the barometric height then ?] [Ans. 72·11 cm]

11. একটি মোটরগাড়ীর টায়ার 100 cm. দীর্ঘ ও 10 cm. ব্যাসযুক্ত। বায়ুমণ্ডলের চাপে কত আয়তনের বায়ুকে ঐ টায়ারে প্রবেশ করাইলে টায়ারের বায়ুচাপ 10 বায়ুমণ্ডলের সমান হইবে ?

[The tyre of a motor-car is 100 cms in length and 10 cms. in diameter What volume of air measured at atmospheric pressure must be pumped in to raise the pressure of the tyre to 10 atmospheres ?] [Ans, 7850O c.c]

12. একটি মোটরগাড়ীর টায়ারে এমনভাবে হাওয়া পাম্প করিতে হইবে যাহাতে চাপ হয় 24 lbs per sq inch ; টায়ারের আয়তন 700 cubic inches হইলে বায়ুমণ্ডলীয় চাপে (15 lbs/sq inch) কত আয়তনের বায়ু টায়ারে পাম্প করিতে হইবে ?

[Tyres of a motor car should be inflated until the pressure inside them is 24 lbs/sq inch If the capacity of the tyre is 700 cubic inches, what volume of air at atmospheric pressure, 15 lbs/sq inches, must be pumped into it ?]

[Ans. 1120 cubic inches]

18. একটি ব্যারোমিটারের উচ্চতা 80 inches এবং পারদস্তম্ভের উপরে টরিসেলীর শূন্যস্থানের দৈর্ঘ্য 1 inch ; বায়ুমণ্ডলের চাপে যে পরিমাণ বায়ু ব্যারোমিটার নলের 1 inch অধিকার করে ঐ পরিমাণ বায়ু ব্যারোমিটারে ঢুকাইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা কত হইবে ?

[A barometer reads 80 inches and the space above the mercury is 1 inch. If a quantity of air which under atmospheric pressure occupies 1 inch of the tube is introduced, what will be the reading of the barometer ?]

[Ans. 25 inches]

14. একটি ব্যারোমিটারের উচ্চতা 75 cm. এবং পারদস্তম্ভের উপরে শূন্যস্থানের আয়তন 10 c. c., বায়ুমণ্ডলের চাপে 1 c.c. বায়ু ব্যারোমিটারে ঢুকানো হইলে ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত হইবে? ব্যারোমিটার নলের প্রস্থচ্ছেদ 1 sq. cm.

[The height of a barometer is 75 cms. of mercury and the evacuated space over mercury surface has a volume of 10 c.c ; 1 c c. of air at atmospheric pressure is introduced into the evacuated space. What is the new reading of the barometer ? Cross-section of the tube is 1 sq. cm.]

[Ans. 70 cms.]

15. একটি সর্বত্র সমব্যাসযুক্ত একমুখ খোলা কাচ-নলের অর্ধেক পারদ দ্বারা ভর্তি করা হইল। অতঃপর নলের খোলামুখ বন্ধ করিয়া উল্টানো হইল এবং পারদপূর্ণ অপর একটি পাত্রে নলের খোলামুখ ঢুকাইয়া খাড়া করিয়া রাখা হইল। নলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য দেখা গেল 1 ফুট; ঐ সময়ে ব্যারোমিটারের উচ্চতা 30 ইঞ্চি হইলে কাচ-নলের দৈর্ঘ্য কত ছিল?

[A uniform glass tube, one end closed, is half-filled with mercury and the open end being closed by a thumb is inverted and the open end is dipped into mercury kept in a reservoir When the tube is held vertically, the height of the mercury column in the tube was found to be 1 foot If the barometer height at that time is 30 inches, what was the length of the glass tube ? [Ans. 6 ft]

16. জলাশয়ের কত গভীরে একটি বুদ্বুদের আয়তন উপরিতলে আসাকালীন আয়তনের অপেক্ষা অর্ধেক হইবে? ঐ সময়ে ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 76 cm এবং পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c c.

[At what depth in a lake will a bubble of air have one-half the volume it will have on reaching the surface ? The height of the barometer at the time is 76 cm of mercury and density of mercury 13 6 gms/c c

[Ans 1033·6 cms.]

17. সমুদ্রের h metres গভীরতা হইতে উপরিতলে আসিতে একটি বুদ্বুদের আয়তন দ্বিগুণ হইল। ঐ সময়ে ব্যারোমিটারের উচ্চতা 750 mm. এবং পারদের ও সমুদ্রের জলের ঘনত্ব যথাক্রমে 13 58 এবং 1·05 gms/c.c. হইলে h-এর মান নির্ণয় কর।

[The volume of a bubble of air is doubled in rising from a depth of h metres in a sea to the surface. If the barometric height be 750 mm. and the densities of mercury and sea-water are respectively 13·58 and 1·05 gms/c.c., calculate h.] [*H. S. Exam. '61*] (Ans. 9·7 metres)

18. একটি ত্রুটিপূর্ণ ব্যারোমিটারের পাঠ যখন 28·5 inches এবং 29·5 inches তখন একটি ত্রুটিহীন ব্যারোমিটারের পাঠ যথাক্রমে 29·5 inches এবং 30·7 inches; যখন ত্রুটিযুক্ত ব্যারোমিটারের পাঠ 29 9 inches তখন বায়ুমণ্ডলের প্রকৃত চাপ কত?

[A faulty barometer reads 28 5 inches when a true barometer reads 29·5 inches and it reads 29 5 inches when the other barometer reads 30·7 inches. Determine the correct value of the atmospheric pressure when the faulty barometer reads 29 9 inches.] [Ans. 31·2 inches]

19. একটি সমব্যাসযুক্ত সরু কাচনলে 80 cm. দীর্ঘ একটি পারদ সূত্র দ্বারা কিছু বায়ু আবদ্ধ আছে। যখন খোলা মুখ উপরের দিকে রাখিয়া নলটিকে খাড়া রাখা যায় তখন বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হয় 8 cm. এবং নলটিকে উল্টাইয়া ধরিলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হয় 7 cm.; যখন নলটিকে অনুভূমিক রাখা হয় তখন উহার দৈর্ঘ্য কত হইবে?

[A column of air is enclosed in a narrow glass-tube of uniform bore by a thread of mercury 80 cm. long. The air column is 8 cm. long when the tube is held vertically with its open end uppermost. On inverting the tube, the air column measures 7 cm. Find the length of the air column when the tube is kept horizontal.] [Ans. 4·2 cm.]

20. সমুদ্রজলের 226 ft. গভীরে একটি বায়ু বুদ্বুদের আয়তন 1·7 c.c. হইলে বুদ্বুদটি যখন ঠিক জলতলে ভাসিয়া উঠিবে তখন উহার আয়তন কত হইবে? জল ব্যারোমিটারের উচ্চতা 34 ft এবং সমুদ্রজলের আপেক্ষিক গুরুত্ব =1·08.

[The volume of an air bubble is 1·7 c.c at a depth of 226 ft. under sea-water. Find the volume of the bubble when it rises to the surface. The height of the water barometer is 34 ft. and sp gravity of sea-water is 1·08.] [Ans. 13·89 c.c.]

21. শোষণ পাম্প বর্ণনা কর। এই পাম্প দ্বারা 30 ফুটের ঊর্ধ্বে জল তোলা যায় না—ইহার কারণ বুঝাইয়া বল। 'প্রিমিং' কাহাকে বলে? ইহার প্রয়োজন হয় কেন?

[Describe a suction pump. Explain the reason why this pump cannot draw water to a height more than 30 ft. What is primming? Why is it necessary?]

22. উত্তোলক পাম্পের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। উহার বিভিন্ন অংশ ছবি আঁকিয়া বুঝাও। এই পাম্প দ্বারা কত উঁচু পর্যন্ত জল তোলা যায়?

[Explain the action of a lift pump. Draw a labelled diagram of the pump. Is there any limit to which water can by raised by a lift pump?]

23. ফোর্স পাম্পের কার্য কি? ইহার সহিত শোষণ পাম্পের তফাৎ কোথায়?

[What is the function of a force pump? What is its difference with a suction pump?]

24. সাইফন কি? ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। সাইফন-ক্রিয়ার শর্ত কি?

[What is a siphon? Explain its action. What are the conditions of its working?] [H. S. (Comp) 1960]

25. কেরোসিন তেলকে (আঃ গুঃ—0·8) সাইফন ক্রিয়ার সাহায্যে একটি বাধা অতিক্রম করাইয়া আনিতে হইবে। বাধার উচ্চতা সর্বাপেক্ষা কত বেশি করা যাইতে পারে যাহাতে সাইফন ক্রিয়া সম্ভব চালু থাকে? বায়ুমণ্ডলের চাপ=30 inches পারদস্তম্ভ।

[It is required to siphon kerosene (sp. gr.=0·8) over an obstacle. What must be the limiting height of the obstacle which will render siphoning just possible? Atmospheric pressure =30 inches of mercury.]

[H. S. Exam. (Comp) 1960] [Ans. 42·5 ft.]

26. বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প কাহাকে বলে ? উহার বিবরণ ও কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। ইহার সীমাসর্ত কি ?

[What is an exhaust pump ? Describe it and explain its action. What is its limitations ?] [*H. S. (Comp.) 1961*]

27. বায়ু-সংনমন পাম্পের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ইহার ব্যবহারের কয়েকটি উদাহরণ দাও।

[Explain the action of a compression pump. Mention some of its applications

28. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির জবাব লেখ :—

(ক) টিউবওয়েলে যুক্ত শোষণপাম্প অনেক সময় ঠিকমত কাজ করে না, কিন্তু উপর হইতে পাম্পের ভিতর কিছু জল ঢালিয়া দিলে পুনরায় কাজ করিতে থাকে। কেন ?

(খ) উত্তোলক পাম্পে কি শোষণপাম্পের সীমাশর্ত প্রযোজ্য ?

(গ) ফোর্স পাম্প দ্বারা কি অবিরত জল তোলা যায় ?

(ঘ) সাইফনের কোন বাহুতে একটি ছিদ্র থাকিলে ক্ষতি কি ?

(ঙ) বায়ু নিষ্কাশক পাম্পদ্বারা কি কোন আবদ্ধস্থানের বায়ু সম্পূর্ণ নিষ্কাশিত করা যায় ?

[Answer the following questions :—

(a) It is found that a suction pump fitted in a tube-well does not very often work properly ; but if some water is poured into the pump it begins to work properly. Why ?

(b) Are the limitations of a suction pump applicable to a lift pump ?

(c) Can a force pump force water continuously ?

(d) What is the harm if there is a hole in any one of the arms of a siphon ?

(e) Can an air exhaust-pump create a perfect vacuum in an enclosed space ?]

29. বাইসাইকেল পাম্প বায়ু সংনমন পাম্প হিসাবে কিরূপে কার্য করে বুঝাইয়া দাও। এই পাম্পে চামড়ার তৈরী বাটির মতন দেখিতে 'ওয়াশারের' কাজ কি ?

[Explain how a bicycle pump acts as a compression pump. What is the function of the cup-shaped leather washer ?]

30. একটি বায়ু নিষ্কাশক পাম্পের রিসিভারের আয়তন চোঙের (barrel) আয়তনের ছয় গুণ। পিস্টনের কয়বার সম্পূর্ণ গতির পরে রিসিভারের বায়ুর ঘনত্ব প্রাথমিক ঘনত্বের $\frac{216}{343}$ ভাগ হইবে ?

[The volume of the receiver of an air-pump is six times that of the barrel. Find the number of strokes of the piston required to reduce the density of the air to $\frac{216}{343}$ of the original value.] [Ans. 3]

81. একটি বায়ু সংনমন পাম্পের রিসিভারের আয়তন চোঙের আয়তন অপেক্ষা 20 গুণ। পিস্টনের কয়বার সম্পূর্ণ গতির ফলে রিসিভারের বায়ুর চাপ এক বায়ুমণ্ডল হইতে তিন বায়ুমণ্ডলে বর্ধিত হইবে?

[The volume of the receiver of a condensing pump is 20 times that of the barrel. Find after how many strokes of the piston the pressure of air inside the receiver will be increased from one to three atmospheres] [Ans. 40]

[OBJECTIVE TYPE QUESTIONS]

A. Alternate response type :

(i) *Yes or No type* :—

(ক) পদার্থের ঘনত্ব তরলের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশী হইলে ঐ পদার্থ কি তরলে ভাসবে? —

(খ) কোন ক্ষেত্রফলের উপর তরলের ঘাত কি তরলের চাপ ও ক্ষেত্রফলের গুণফলের সমান? —

(গ) টরিসেলির পরীক্ষায় নলটি কাত করিলে পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতার (vertical height) কি পরিবর্তন হইবে? —

(ঘ) বায়ুতে কোন বস্তুকে ওজন করিলে উহা কি বস্তুর প্রকৃত ওজনের অসমান হইবে? —

(ঙ) সাধারণ তুলাযন্ত্রে কি আমরা বস্তুর ওজন মাপি? —

(ii) *True or False type* :—

(ক) কোন তরলপূর্ণ পাত্রের তলদেশে চাপ তরলের গভীরতা ও তলদেশের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে; মোট তরলের উপর নির্ভর করে না।

(খ) জলকে নির্দিষ্ট মান ধরিয়া সম-আয়তন জলের চাইতে কোন পদার্থ কতটা ভারী তাহা দ্বারা পদার্থের ঘনত্ব বুঝানো হয়। —

(গ) বায়ুমণ্ডল চাপ প্রদান করিতে সক্ষম; কারণ বায়ুর ওজন আছে। —

(ঘ) ব্যারোমিটারের উচ্চতা হঠাৎ কমিয়া গেলে ঝড়ের সম্ভাবনা থাকে। —

(ঙ) বায়ু-সংনমন পাম্প দ্বারা কোন আবদ্ধ স্থানের বায়ু বাহির করিয়া লওয়া চলে। —

B. Recall type :

(ক) এফ. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী দৈর্ঘ্যের একক —।

(খ) স্প্রীং তুলা দ্বারা বস্তুর—মাপা যায়।

(গ) তরলে নিমজ্জিত বস্তুর—আপাত হ্রাস হয়।

(ঘ) প্রতি বর্গইঞ্চিতে বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রায়—

(ঙ) তরলের উপরিস্থ তল সর্বদা—হয়।

C. Completion type :

(ক) কোন আবদ্ধ তরলের যে-কোন অংশে—(a) প্রয়োগ করিল সেই চাপ—(b) মাত্রায় সর্বদিকে—(c) করে এবং এই সঞ্চালিত চাপ তরল-সংলগ্ন পাত্রের উপর—(d) ক্রিয়া করে।

——(a)
——(b)
——(c)
(d)

খ) কোন বস্তুকে তরলে—(a) বা —(b) নিমজ্জিত করিলে বস্তুর —(c) আপাত—(d) হয় এবং এই—(e) বস্তু যে-তরল স্থানচ্যুত করে তাহার—(f) সমান।

—(a) —(b) —(c) —(d) —(e) —(f)

D. Multiple choice type :—

(ক) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক কি ?

উ। ফার্লং, সেন্টিমিটার, গজ, মিটার।

(খ) নিকলসন্ হাইড্রোমিটার দ্বারা কি মাপা হয় ?

উ। পদার্থের ঘনত্ব, আপেক্ষিক গুরুত্ব, ওজনের আপাত হ্রাস।

(গ) বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপিবার যন্ত্র কি ?

উ। স্প্রিং তুলা, ব্যারোমিটার, ব্যারোস্কোপ।

(ঘ) খুব সরু তারের ব্যাস মাপিবার উপযোগী যন্ত্র কোন্‌টি ?

উ। স্ক্রু-গেজ, স্ফেরোমিটার, প্রোট্রাক্টর।

(ঙ) বরফ জলে ভাসে কেন ?

উ। ঘনত্ব কম বলিয়া, বরফ ও জল একই বস্তু বলিয়া, জলের প্লবতা বেশী বলিয়া।

তাপ-বিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ

তাপ ও থার্মোমিতি

(Heat and Thermometry)

1-1. তাপ (Heat) :

তাপ সম্বন্ধে আমাদের সকলেরই কিছু-না-কিছু ধারণা আছে। আগুন জ্বালাইলে তাপ পাই বা দিনের বেলায় সূর্য উঠিলেই তাপ অনুভব করি, এসব কথা আমরা সকলে জানি। কোন কঠিন বস্তুর আকার ও আয়তনের মত তাপের কোন আকার বা আয়তন না থাকায় কিংবা গন্ধ, বং প্রভৃতি দ্বারা তাপকে বুঝিবার উপায় না থাকায়, তাপকে কোন বস্তুর মাধ্যমে বুঝিতে হয়। কোন বস্তু গরম হইয়া উঠিলেই আমরা ঐ বস্তুতে তাপের অস্তিত্ব বুঝিতে পারি। আমাদের সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতেছে এই যে, বস্তু তাপ গ্রহণ করিলে গরম হইবে এবং তাপ বর্জন করিলে ঠাণ্ডা হইবে। কাজেই **তাপকে আমরা এমন এক জিনিস বলিয়া ধরিয়া লইতে পারি যাহার গ্রহণে বস্তু গরম হইয়া উঠে এবং বর্জনে ঠাণ্ডা হইয়া যায়।**

1-2. তাপের স্বরূপ (Nature of heat) :

কোন বস্তুতে তাপের উদ্ভব যদি আমরা ভালভাবে লক্ষ্য করি তবে দেখিব যে উহার জন্য কোন-না-কোন শক্তি ব্যয়িত হইয়াছে।

কয়লা পোড়াইলে তাপের উদ্ভব হয়। এস্থলে কয়লাতে সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তি তাপে পরিবর্তিত হয়।

দুইটি কঠিন বস্তুকে ঘর্ষণ করিলে তাপ সৃষ্টি হয়, আমরা জানি। ঘর্ষণের ফলে কিছু যান্ত্রিক শক্তির (mechanical energy) ব্যয় হয়। এই যান্ত্রিক শক্তিই বস্তুতে তাপের আকারে পরিবর্তিত হয়।

বৈদ্যুতিক বাতিতে বিদ্যুৎ-প্রবাহ চালাইলে বাতি আলো দেয় এবং সঙ্গে সঙ্গে তাপও প্রদান করে। এস্থলে বৈদ্যুতিক শক্তির বিনিময়ে তাপের সৃষ্টি হইতেছে।

সুতরাং **তাপ সৃষ্টি করিতে হইলে শক্তির প্রয়োজন। এই কারণে তাপকে এক প্রকার শক্তি বলিয়া গণ্য করা হয়।**

এই তাপশক্তির স্বরূপ সম্বন্ধে পূর্বে দুইটি বিপরীত মতবাদ (theory) প্রচলিত হয়। একটিকে বলা হইত ক্যালরিক মতবাদ (caloric theory) এবং অন্যটিকে বলা হইত যান্ত্রিক মতবাদ (mechanical theory)। পরে

সূক্ষ্মবিধ পরীক্ষার ফলে দেখা গেল যে, দ্বিতীয় মতবাদই তাপের স্বরূপ সঠিক নির্দেশ করিতে পারে। এই মতবাদের প্রবর্তক হইলেন কাউন্ট রামফোর্ড।

কাউন্ট রামফোর্ড কামানের নল তৈয়ারী করিবার জন্য একটি বড় ধাতুখণ্ড তুরপুন (drill) দিয়া ছেঁদা করাইতেছিলেন। ছেঁদা করিবার সময় যে ছোট ছোট ধাতুর টুকরা ছিটকাইয়া আসিতেছিল, তিনি দেখিলেন সেগুলি অত্যন্ত উত্তপ্ত। তিনি হিসাব করিয়া দেখিলেন যে, ছেঁদা করাইতে মোট যে তাপশক্তি উৎপন্ন হইতেছে তাহা 5 পাউণ্ড বরফ গলাইতে পারে। তিনি মনে মনে প্রশ্ন করিলেন যে, এই প্রচণ্ড তাপশক্তি সৃষ্টি কি করিয়া সম্ভব হইল?

তখন তিনি স্থির করিলেন যে, ধাতুখণ্ডের ভিতর তুরপুন চালাইতে যে যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হইয়াছে তাহাই তাপশক্তি সৃষ্টির কারণ। এই যান্ত্রিক শক্তি ধাতুখণ্ডের অণু-পরমাণুগুলির গতিশক্তি (kinetic energy) বৃদ্ধি করে এবং অণু-পরমাণুর এই বর্ধিত গতিশক্তিই পদার্থে তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। (বিস্তারিত বিবরণের জন্য পদার্থ বিজ্ঞান—দ্বিতীয় ভাগ দ্রষ্টব্য।)

কাজেই তাপকে একপ্রকার 'গতির রূপ' (mode of motion) বলিয়া ধরা যাইতে পারে।

1-3. তাপের ফল (Effects of heat) **:**

কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে নানাবিধ ফল দেখিতে পাওয়া যায়। উত্তপ্ত হইলে বস্তুর প্রায় সকল প্রাকৃতিক গুণাবলীরই পরিবর্তন হয়—এবং কোন কোন ক্ষেত্রে রাসায়নিক পরিবর্তনও দেখা যায়। তাপের নিম্নলিখিত কয়েকটি ফলাফল খুবই উল্লেখযোগ্য।

(1) **তাপমাত্রার পরিবর্তন :**

তাপ প্রয়োগে বস্তু গরম হইয়া পড়ে অর্থাৎ বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। ইহার উদাহরণ আমাদের প্রায়ই চোখে পড়ে। একটি পাত্রে খানিকটা জল লইয়া আগুনে ধরিলে কিছুক্ষণের মধ্যেই জল বেশ উষ্ণ হইয়া পড়ে।

(2) **অবস্থার পরিবর্তন :**

তাপ প্রয়োগে পদার্থের অবস্থার পরিবর্তন হয়—অর্থাৎ, কঠিন পদার্থ তরলে অথবা তরল পদার্থ বাষ্পে পরিণত হয়।

বরফের একটি টুকরা লইয়া তাপ প্রয়োগ করিলে দেখা যাইবে যে, টুকরাটি গলিয়া জলে পরিণত হইল। ঐ জলকে আরো বেশী উত্তপ্ত করিলে জল বাষ্পে পরিণত হয়।

(3) **রাসায়নিক পরিবর্তন ঃ**

অনেক ক্ষেত্রে তাপ প্রয়োগের ফলে রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয়। যেমন, কয়লাকে উত্তপ্ত করিলে কয়লার কার্বন বায়ুর অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড তৈয়ারী করে।

(4) **দহন ও প্রাণনাশ ঃ**

তাপের দাহিকা শক্তি আছে একথা আমরা সকলেই জানি। কয়লা, তৈল, জ্বালানী প্রভৃতি তাপ-প্রয়োগে জ্বলে ইহা আমাদের সাধারণ অভিজ্ঞতা। অতিরিক্ত তাপ-প্রয়োগে লতাপাতা, প্রাণী, এমন কি মানুষেরও প্রাণনাশ হয়।

(5) **আলোকের উৎপত্তি ঃ**

অতিরিক্ত তাপপ্রয়োগে যখন বস্তু শ্বেত-তপ্ত (white hot) হয় তখন ঐ বস্তু হইতে আলোর সৃষ্টি হয়। তা'ছাড়া দাহ্য পদার্থে তাপ প্রয়োগ করিলেও আলোক উৎপন্ন হয়।

1-4. তাপমাত্রা (Temperature) ঃ

গরম ও ঠাণ্ডা বোধ আমাদের সকলেরই আছে। বরফে হাত দিলে আমাদের ঠাণ্ডা বোধ হয় কিন্তু উত্তপ্ত লোহার টুকরাতে হাত দিলে গরম বোধ হয়। **কোন বস্তু ঠাণ্ডা কি গরম এই অনুভূতিকে আমরা সোজা কথায় বস্তুর তাপমাত্রা বলিতে পারি।** যে বস্তুতে হাত দিলে গরম লাগে তাহার তাপমাত্রা বেশী বলা হয় আর যে বস্তু ঠাণ্ডা লাগে মনে করি তাহার তাপমাত্রা কম বলা হয়।

কিন্তু তাই বলিয়া তাপ বেশী হইলেই যে তাপমাত্রা বাড়িবে তাহার কোন অর্থ নাই। যেমন, একটি দেশলাইয়ের জ্বলন্ত কাঠি ও এক গামলা ফুটন্ত জলের কথা ধরা যাউক। দেশলাই কাঠির তাপমাত্রা গামলার ফুটন্ত জলের তাপমাত্রা অপেক্ষা অনেক বেশী কিন্তু দেশলাই কাঠির মোট তাপ গামলার জলের মোট তাপ অপেক্ষা অনেক কম।

তাপ-বিজ্ঞানে 'তাপমাত্রা' কথাটি এতই প্রয়োজনীয় যে ইহার বিস্তারিত আলোচনা প্রয়োজন।

একটি উত্তপ্ত লোহার বলকে যদি এক বালতি ঠাণ্ডা জলে ছাড়িয়া দেওয়া যায়, তবে দেখা যায় যে লোহার বলটি আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা হইতেছে এবং জল আস্তে আস্তে গরম হইতেছে। এরূপ কখনও দেখা যায় না যে উত্তপ্ত বলটি

আরো উত্তপ্ত হইতেছে এবং ঠাণ্ডা জল আরো ঠাণ্ডা হইতেছে। ইহার কারণ এই যে গোড়াতে উত্তপ্ত বলটির তাপমাত্রা ঠাণ্ডা জল অপেক্ষা বেশী হওয়ায়, উত্তপ্ত বল ঠাণ্ডা জলকে তাপ প্রদান করিয়াছে এবং জলের তাপমাত্রা কম থাকাতে জল সেই তাপ গ্রহণ করিয়াছে। কাজেই **তাপমাত্রা কোন বস্তুর এমন এক তাপীয় (thermal) অবস্থা যাহা হইতে আমরা বুঝি যে ঐ বস্তুটি অন্য বস্তুকে তাপ দিবে কিংবা অন্য বস্তু হইতে তাপ গ্রহণ করিবে।**

এই সম্পর্কে তাপমাত্রাকে তরলের তলের (level) সঙ্গে তুলনা করা যাইতে পারে। আমরা জানি যে উচ্চতল হইতে জল সর্বদা নিম্নতলে প্রবাহিত হয়। উল্টাদিকে কখনও প্রবাহিত হয় না। অর্থাৎ, তলদ্বারা আমরা বুঝিতে পারি যে জলপ্রবাহ কোন্ দিকে যাইবে। তাপমাত্রাও তেমনি বুঝাইয়া দেয় কোন্ বস্তু হইতে কোন্ বস্তুতে তাপের প্রবাহ হইবে।

যখন A বস্তু B বস্তুকে তাপ প্রদান করে তখন বলা হয় A বস্তুর তাপমাত্রা B বস্তু অপেক্ষা বেশী এবং উল্টা প্রবাহ হইলে বলা হয় B বস্তুর তাপমাত্রা A বস্তু হইতে বেশী।

1-5. তাপ ও তাপমাত্রার পার্থক্য :

(1) তাপ একপ্রকার শক্তি। কিন্তু তাপমাত্রা বস্তুর এক তাপীয় (thermal) অবস্থা।

(2) যখন কোন বস্তু তাপ গ্রহণ করে, তখনই উহার তাপমাত্রা বাড়ে এবং যখন তাপ ছাড়িয়া দেয় তখনই উহার তাপমাত্রা কমে। অর্থাৎ, তাপকে কারণ (cause) বলা যায় এবং তাপমাত্রা হইল উহার ফল (effect)।

(3) কিছু পরিমাণ জলের সহিত ইহার তলের (level) যে তফাৎ তাপের সহিত তাপমাত্রারও সেই তফাৎ।

(4) দুই বস্তুর এক তাপমাত্রা হইলেই উহাদের যে সম-পরিমাণ তাপ থাকিবে তাহার কোন অর্থ নাই। আবার দুই বস্তুর সম-পরিমাণ তাপ থাকিলেই উহাদের তাপমাত্রা এক হইবে তাহারও কোন অর্থ নাই।

1-6. তাপমাত্রামাপক যন্ত্র বা থার্মোমিটার :

কোন বস্তু উত্তপ্ত কি ঠাণ্ডা তাহা আমরা স্পর্শ করিয়া বুঝিতে পারি। কিন্তু স্পর্শানুভূতির বিচার সর্বদা অভ্রান্ত বা সূক্ষ্ম হয় না। যেমন, শীতপ্রধান দেশের

লোক আমাদের দেশে আসিলে খুব বেশী গরম বোধ করিবে কিন্তু আমরা এ-দেশে থাকিতে অভ্যস্ত বলিয়া তত গরম বোধ করি না। আবার আমরা শীতের দেশে গেলে খুব ঠাণ্ডা বোধ করিব।

এক বালতি গরম জলে কিছুক্ষণ হাত ডুবাইয়া রাখিয়া ঠাণ্ডা জলে হাত ডুবাও। জল খুব বেশী ঠাণ্ডা লাগিবে। তেমনি ঠাণ্ডা জলে কিছুক্ষণ হাত ডুবাইয়া রাখিয়া গরম জলে ডুবাইলে জল খুব গরম লাগিবে।

কাজেই অনুভূতির বিচার নির্ভুল নয়। তাছাড়া তাপমাত্রার সূক্ষ্ম পরিমাপ স্পর্শ দ্বারা হইতে পারে না। এজন্য যন্ত্রের প্রয়োজন।

যে-যন্ত্রের সাহায্যে কোন বস্তুর তাপমাত্রা মাপা যায় তাহাকে তাপমাত্রামাপক যন্ত্র বা **থার্মোমিটার** বলে।

কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থের নানাবিধ প্রাকৃতিক গুণাবলী অবলম্বন করিয়া নানা ধরনের থার্মোমিটার নির্মিত হইয়াছে যেমন:—

(1) তাপমাত্রা পরিবর্তনের সঙ্গে তরল পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন হয়। তরলের এই গুণটি প্রয়োগ করিয়া পরীক্ষাগারে সাধারণত যে সমস্ত থার্মোমিটার ব্যবহৃত হয় তাহা তৈয়ারী হইয়াছে। পারদ থার্মোমিটার, অ্যাল্‌কোহল থার্মোমিটার ইত্যাদি এই জাতীয় তাপমাত্রামাপক যন্ত্র।

(2) কোন গ্যাসের চাপ ঠিক রাখিলে উহার আয়তন তাপমাত্রার সহিত পরিবর্তিত হয়। আবার আয়তন ঠিক রাখিলে গ্যাসের চাপ তাপমাত্রার সহিত পরিবর্তিত হয়। গ্যাসের এই ধর্মকে ব্যবহার করিয়া বিভিন্ন ধরনের গ্যাস থার্মোমিটারের উদ্ভব হইয়াছে।

(3) কোন তড়িৎ-পরিবাহীর (conductor) রোধ (resistance) তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। সাধারণত তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা কমিলে রোধও কমে। প্লাটিনাম নামক মৌলের এই ধর্ম খুবই নিয়মানুগ (regular) প্লাটিনামের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া প্লাটিনাম রেজিস্টান্‌স্ থার্মোমিটার (Platinum resistance thermometer) নামে একপ্রকার থার্মোমিটারের সৃষ্টি হইয়াছে।

(4) দুইটি বিভিন্ন ধাতুর তারের দুই প্রান্ত সংযুক্ত করিয়া প্রান্ত দুইটিতে বিভিন্ন তাপমাত্রা সৃষ্টি করিলে তারের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ-প্রবাহ চলাচল করে। ইহাকে থার্মোকাপ্‌ল (thermo-couple) বলে। এই থার্মোকাপ্‌ল দ্বারাও তাপমাত্রার পরিমাপ সম্ভব।

পারদ থার্মোমিটার (Mercury-in-glass thermometer) : যে থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহৃত হয় তাহাকে পারদ থার্মোমিটার বলে। এই ধরনের থার্মোমিটারের ব্যবহার খুব বেশী দেখা যায়। থার্মোমিটারে অন্যান্য তরল অপেক্ষা পারদ ব্যবহারের কতগুলি সুবিধা আছে। যথা :—

(1) তাপমাত্রার পরিবর্তনে পারদের আয়তনের পরিবর্তন খুব নিয়মানুগ (regular) এবং ইহা তাপমাত্রার অনেক দূর-পাল্লা (wide range) পর্যন্ত প্রসারিত।

(2) কোন বস্তুর তাপমাত্রা লাভ করিতে পারদ ঐ বস্তু হইতে অন্যান্য তরলের তুলনায় খুব কম তাপ গ্রহণ করে। ফলে বস্তুর নিজের তাপমাত্রার বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না অথচ থার্মোমিটার বস্তুর তাপমাত্রা দেখাইয়া দেয়।

(3) নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ভেদে পারদের আয়তন বৃদ্ধি অন্যান্য তরল অপেক্ষা বেশী। সুতরাং পারদ-থার্মোমিটার দ্বারা তাপমাত্রা খুব সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়।

(4) পারদ প্রায় 350° সেন্টিগ্রেডে বাষ্প হয় এবং −39° সেন্টিগ্রেডে জমিয়া যায়। সুতরাং এই বিস্তীর্ণ পাল্লায় পারদ তরল থাকে এবং ইহার ভিতর যে-কোন তাপমাত্রা মাপিতে পারা যায়।

(5) পারদ সহজেই বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়।

(6) বিশুদ্ধ পারদ কাচ ভিজায় না। সুতরাং কাচ নলের গায়ে পারদ আটকাইয়া থাকিবে না।

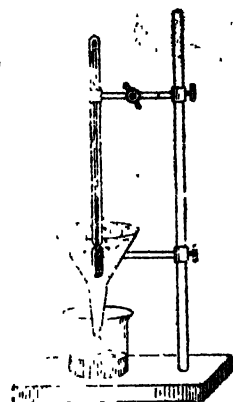
(7) পারদ অস্বচ্ছ ও চক্‌চকে বলিয়া কাচের ভিতর দিয়া ইহাকে স্পষ্ট দেখা যায়।

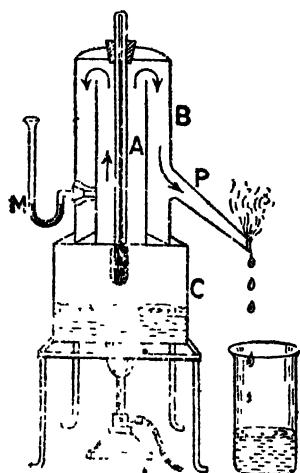
পারদ থার্মোমিটার
চিত্র 1ক

পারদ থার্মোমিটারের বিবরণ :

1ক নং চিত্রে পরীক্ষাগারে বহুল ব্যবহৃত একটি পারদ থার্মোমিটারের চিত্র দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি সর্বত্র সমান ব্যাসের সূক্ষ্ম রন্ধ্রবিশিষ্ট শক্ত কাচের নল। রন্ধ্রের একপ্রান্তে চোঙাকৃতি একটি কুণ্ড আছে এবং অপর প্রান্ত বন্ধ। কুণ্ড এবং রন্ধ্রের খানিকটা অংশ পারদপূর্ণ। কাচনলের গায়ে তাপমাত্রার স্কেল অংকিত। যে বস্তুর

বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে বিশুদ্ধ জল যে-তাপমাত্রায় ফুটিতে থাকে তাহাকে ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক (upper fixed point) বা স্ফুটনাঙ্ক (boiling point or steam point) বলে।

নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে গেলে 1গ নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে। একটি ফানেলে পরিষ্কার বরফের গুঁড়া লইয়া থার্মোমিটারের কুণ্ড ও নলের কিছু অংশ বরফে ডুবাইয়া দাও। বরফের সংস্পর্শে কুণ্ড যত ঠাণ্ডা হইবে পারদ নল দিয়া তত নামিয়া আসিবে। পরে যখন কুণ্ড বরফের তাপমাত্রা পাইবে তখন পারদ স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। সেই জায়গায় নলের গায়ে একটি দাগ কাটিয়া দাও। ইহাকেই নিম্নস্থিরাঙ্ক বা হিমাঙ্ক বলা হয়।

নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ণয় ব্যবস্থা
চিত্র 1গ

ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইলে 1ঘ নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে। এখানে থার্মোমিটারকে হিপসোমিটার (Hypsometer) নামক যন্ত্রের ভিতরে ঢুকাইয়া দিতে হইবে। এই যন্ত্রে C একটি তামার পাত্র। এই পাত্রে জল রাখিয়া উহাকে ফুটাইতে হয়। C পাত্রের উপর A এবং B দুইটি খাড়া চোঙ। স্টীম A চোঙের ভিতর দিয়া A এবং B র মাঝখানে আসে এবং P মুখ দিয়া বাহির হইয়া যায় (তীরচিহ্ন প্রদর্শিত পথে)। A চোঙের স্টীমের চাপের সহিত বায়ুমণ্ডলের চাপের প্রভেদ বুঝিবার জন্য একটি দুমুখ খোলা বাঁকানো কাচ নল (M) পারদপূর্ণ করিয়া যন্ত্রটির সহিত লাগানো থাকে। ইহাকে ম্যানোমিটার বলে। ম্যানোমিটারের দুই বাহুতে পারদের তল সমান হইলে স্টীমের চাপ এবং বায়ুমণ্ডলের চাপ এক হইবে।

ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নির্ণয় ব্যবস্থা
চিত্র 1ঘ

থার্মোমিটারকে এমনভাবে হিপসোমিটারে ঢুকাইতে হইবে যেন কুণ্ড জল হইতে খানিকটা উঁচুতে থাকে। জল ফুটিতে আরম্ভ করিলে কুণ্ডের পারদ উষ্ণ ষ্টীমের সংস্পর্শে আসিয়া আয়তনে বাড়িবে এবং রন্ধ্র বাহিয়া উপরে উঠিবে। যখন কুণ্ড ষ্টীমের তাপমাত্রা পাইবে তখন পারদ স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। তখন ঐ জায়গায় কাচনলের গায়ে দাগ কাট। ইহাকে ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক বলা হইবে।

[**দ্রষ্টব্য :** ফুটন্ত জলের তাপমাত্রা বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভর করে। বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে (normal atmospheric pressure) ফুটন্ত জলের যে তাপমাত্রা হয় উহাকেই ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক ধরা হয়। সুতরাং ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক নির্ণয়ের সময় বায়ুমণ্ডলের চাপ যদি ভিন্ন হয় তবে স্থিরাঙ্কের প্রয়োজনীয় সংশোধন করিয়া লইতে হইবে।

মনে কর, যখন ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করা হইল তখন ব্যারোমিটারে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা 74·6 cm, বায়ুমণ্ডলের চাপ ও স্ফুটনাঙ্কের তালিকা হইতে ঐ চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক হইবে 99·5 centigrade. ধরা যাউক, প্রাপ্ত নিম্ন-স্থিরাঙ্ক ও ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী দূরত্ব হইল 18 cm. এক্ষেত্রে সংশোধিত দূরত্ব নিম্নলিখিত সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে।

$$\frac{x}{18}=\frac{100}{99\cdot5}, \text{ বা, } x=\frac{100\times18}{99\cdot5}=18\cdot9 \text{ cm.}$$

কাজেই প্রকৃত ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নিম্নস্থিরাঙ্ক হইতে 18·9 cm দূরে হইবে—18 cm নয়।]

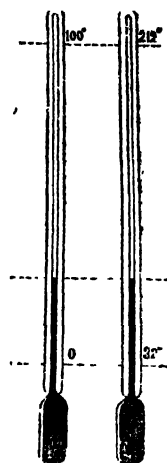
থার্মোমিটার স্কেল :

স্থিরাঙ্ক দুইটির মধ্যবর্তী তাপমাত্রার ব্যবধানকে বলা হয় **প্রাথমিক অন্তর Fundamental interval** (F. I.)। এই ব্যবধানকে বিভিন্ন উপায়ে ভাগ করিয়া বিভিন্ন থার্মোমিটার স্কেল তৈয়ারী হয়। তাপমাত্রা নির্ণয়ের জন্য আমাদের দেশে দুই রকমের থার্মোমিটার স্কেল চালু আছে।

(ক) সেন্টিগ্রেড স্কেল, (খ) ফারেনহাইট স্কেল।

(ক) **সেন্টিগ্রেড স্কেল :** এই স্কেল অনুযায়ী নিম্নস্থিরাঙ্ক 0° ডিগ্রী এবং ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক 100° ডিগ্রী ধরা হয়। মধ্যবর্তী স্থানকে 100 সমান ভাগে

ভাগ করা হয় এবং প্রত্যেক ভাগ এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রার ব্যবধান বুঝায়।

(খ) **ফারেনহাইট স্কেল ঃ** এই স্কেল অনুযায়ী নিম্নস্থিরাঙ্ক 32° ডিগ্রী এবং উর্ধ্ব স্থিরাঙ্ককে 212° ডিগ্রী ধরা হয়। মধ্যবর্তী স্থানকে সমান 180° ভাগে ভাগ করা হয়, সুতরাং এই স্কেল অনুযায়ী 0° নিম্নস্থিরাঙ্কের 32 ঘর নীচে। ইহার প্রত্যেক ভাগ এক ডিগ্রী ফারেনহাইট তাপমাত্রার ব্যবধান বুঝায়।

সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট স্কেল
চিত্র 1৬

1৬ নং চিত্রে দুই স্কেলের ছবি দেখানো হইল।

এই প্রসঙ্গে প্রশ্ন করা যাইতে পারে যে **থার্মোমিটার নলটির প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সমান না হইলে ক্ষতি কি?** প্রস্থচ্ছেদ অসমান হইলে অর্থাৎ নলটি কোথাও সরু বা মোটা হইলে একই তাপমাত্রাভেদে পারদ নলের সর্বত্র সমানভাবে অগ্রসর হইবে না। মোটা জায়গায় কম অগ্রসর হইবে এবং সরু জায়গায় বেশী অগ্রসর হইবে। নলটির অংশাঙ্কন (gradustion) সর্বত্র সমান হইলে এই ধরনের থার্মোমিটার দ্বারা তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে মাপা যাইবে না। তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে মাপিতে হইলে প্রস্থচ্ছেদ অনুযায়ী ডিগ্রী দাগ কাটিতে হইবে। মোটা জায়গায় ডিগ্রীর দৈর্ঘ্য কম করিতে হইবে এবং সরু জায়গায় বেশী করিতে হইবে। কিন্তু এই ধরনের অংশাঙ্কন ব্যয়বহুল এবং শ্রমসাধ্য। তাই সমান প্রস্থচ্ছেদের নল লওয়া হয় কারণ সেক্ষেত্রে অংশাঙ্কন খুব সহজে করা যায়।

দুই স্কেলের সম্বন্ধ ঃ

উপরের স্কেল দুইটি হইতে বোঝা যায় যে একই তাপমাত্রার ব্যবধান সেন্টিগ্রেডে 100 ভাগ এবং ফারেনহাইটে 180 ভাগে ভাগ করা হইয়াছে। এই দুই স্কেলের ভিতর যে পারস্পরিক সম্বন্ধ আছে তাহা নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ণয় করা যায়।

ধরা যাউক কোন তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেড স্কেলে C এবং ফারেনহাইট স্কেলে F হইল।

এখন সেন্টিগ্রেড স্কেলে 1° অথবা 1 দাগ = হিমাঙ্ক হইতে স্ফুটনাঙ্ক পর্যন্ত তাপমাত্রার ব্যবধানের $\frac{1}{100}$ ভাগ।

সুতরাং C সেন্টিগ্রেড ডিগ্রী = ঐ তাপমাত্রার ব্যবধানের $\frac{C}{100}$ ভাগ

এখন ফারেনহাইট স্কেলে পাবদ F দাগ পর্যন্ত পৌঁছানো অর্থ হিমাঙ্ক হইতে (F − 32) ঘর যাওয়া।

1 ফারেনহাইট ডিগ্রী = হিমাঙ্ক হইতে স্ফুটনাঙ্ক পর্যন্ত তাপমাত্রার $\frac{1}{180}$ ভাগ

সুতরাং F − 32 ,, ,, = ,, ,, ,, ,, ,, $\frac{F-32}{180}$ ভাগ

যেহেতু তাপমাত্রা একই, অতএব,

$$\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}$$

অথবা, $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$

তাছাড়া, আমরা জানি,

180 ফারেনহাইট ডিগ্রী = 100 সেন্টিগ্রেড ডিগ্রী

∴ 1 ,, ,, $=\frac{5}{9}$,, ,,

অথবা, 1 সেন্টিগ্রেড ডিগ্রী = $\frac{9}{5}$ ফারেনহাইট ডিগ্রী।

উদাহরণ :

(1) কোন এক দিনের তাপমাত্রা 94° ডিগ্রী ফারেনহাইট। সেন্টিগ্রেডে ঐ তাপমাত্রা কত ?

[The temperature of a certain day is 94° Fahrenheit. What will be corresponding temperature on centigrade scale ?]

উ। আমরা জানি, $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$

এস্থলে F = 94°

সুতরাং $\frac{C}{5}=\frac{94-32}{9}=\frac{62}{9}$

অথবা $C=\frac{62\times5}{9}=\frac{310}{9}=34{\cdot}4$

(2) কোন একটি বস্তুর তাপমাত্রা 25°C বৃদ্ধি পাইল। ফারেনহাইট ডিগ্রীতে ঐ বৃদ্ধি কত হইবে ?

[The temperature of a body rises by 25°C. How much is this increase in degrees Fahrenheit ?] [*H.S. Exam. 1964*]

উ। আমরা জানি 100°C তাপমাত্রার ব্যবধান = 180°F তাপমাত্রার ব্যবধান

$$\therefore \quad 1^\circ C \quad ,, \quad ,, = \frac{180^\circ}{100} F \quad ,, \quad ,,$$

$$= \frac{9^\circ}{5} F \quad ,, \quad ,,$$

$$\therefore \quad 25^\circ C \quad ,, \quad ,, = \frac{9 \times 25}{5} = 45^\circ F \quad ,, \quad ,,$$

সুতরাং ফারেনহাইট ডিগ্রীতে উপরোক্ত বৃদ্ধি হইবে 45°.

(3) কোন অজ্ঞাত স্কেলের থার্মোমিটার হিমাঙ্ক −20° দেখাইতেছে এবং স্ফুটনাঙ্ক 80° দেখাইতেছে। 50 ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা ঐ থার্মোমিটারে কত দেখাইবে ?

[An unspecified thermometer reads −20° at the ice-point and 80° at the steam-point. Calculate what this thermometer will read corresponding to 50°C ?]

উ। ধর, ঐ থার্মোমিটার t° দেখাইতেছে। আমরা জানি

$$\frac{C}{100} = \frac{t - (-20)}{80 - (-20)}$$

এখানে $C = 50^\circ C$, কাজেই, $\frac{50}{100} = \frac{t + 20}{100}$

অথবা $t = 30^\circ$

(4) একটি থার্মোমিটারের প্রাথমিক অন্তর 80টি সমান ঘরে এবং আর একটির প্রাথমিক অন্তর 120টি সমান ঘরে বিভক্ত। প্রথমটির নিম্নস্থিরাঙ্ক 0-তে এবং দ্বিতীয়টির 60 ঘরে অঙ্কিত। কোন তাপমাত্রায় দ্বিতীয় থার্মোমিটারের পাঠ 100° হইলে প্রথম থার্মোমিটারের পাঠ কত হইবে ?

A thermometer has its fundamental interval divided into 80 equal parts and another into 120. If the lower fixed point of the first is marked 0 and of the second 60, what is the temperature shown by the first when it is 100° by the second ?]

উ। ধর, প্রথম থার্মোমিটার যে তাপমাত্রা প্রদর্শন করিতেছে তাহা t_1
এবং দ্বিতীয় „ „ „ „ „ „ t_2

অতএব, আমরা লিখিতে পারি,

$$\frac{t_1 - 0}{80} = \frac{t_2 - 60}{120}$$

এস্থলে $t_2 = 100°$, কাজেই, $\frac{t_1 - 0}{80} = \frac{100 - 60}{120} = \frac{40}{120}$

$$\text{or,} \quad t_1 = \frac{40 \times 80}{120} = 26.6° \text{ (প্রায়)}$$

সুতরাং প্রথম থার্মোমিটার 26·6° তাপমাত্রা প্রদর্শন করিবে।

(5) কোন থার্মোমিটারের নিম্নস্থিরাঙ্ক ও ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক যথাক্রমে 20 এবং 140 দাগ কাটা আছে। 92°F তাপমাত্রা ঐ থার্মোমিটারে কত দেখাইবে ?

[If the lower and upper fixed points of a thermometer are marked 20 and 140 respectively, what reading would this thermometer indicate for a temperature of 92°F ?]

(H. S. Exam. 1962)

উ। ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক ও নিম্ন স্থিরাঙ্কের মধ্যে মোট ভাগ $= 140 - 20 = 120$

ধর, ঐ থার্মোমিটার যে পাঠ দিবে তাহা x°

অতএব, $\frac{x - 20}{120} = \frac{F - 32}{180}$

এক্ষেত্রে, $F = 92°$, কাজেই, $\frac{x - 20}{120} = \frac{92 - 32}{180} = \frac{60}{180}$

$$\text{or,} \quad x = 60°$$

(6) একটি সুষম রন্ধ্রের থার্মোমিটারের সহিত একটি সেন্টিমিটার স্কেল যুক্ত আছে। বরফে থার্মোমিটার পাঠ হইল 7·3 cm, স্টীমে 23·8 cm এবং একটি হিমমিশ্রণে পাঠ হইল 3·5 cm. ঐ হিমমিশ্রণের তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেডে কত হইবে নির্ণয় কর।

[A thermometer with a uniform bore is attached to a centimetre scale It reads 7·3 cm in ice, 23·8 cm. in steam and 3·5 cm in a freezing mixture. Calculate the temperature of the freezing mixture in °C.]

উ। সেণ্টিগ্রেড স্কেলে বরফের তাপমাত্রা 0° এবং স্টীমের তাপমাত্রা 100°
অতএব, 100°C এবং 0°C দাগের মধ্যে দূরত্ব = 23·8 − 7·3
= 16·5 cm.

অর্থাৎ, 16·5 cm. দূরত্বের মধ্যে সেণ্টিগ্রেড স্কেলের 100° ডিগ্রী আছে

∴ 1 " " " " " $\frac{100}{16·5}$ " "

এখন, বরফের দাগ এবং হিমমিশ্রণের দাগের মধ্যবর্তী দূরত্ব = 7·3 − 3·5
= 3·8 cm.

ঐ 3·8 cm. দূরত্বে 0°C এর নিম্নে যে-কয়টি ডিগ্রী আছে তাহার সংখ্যা

$$= \frac{100 \times 3·8}{16·5} = 23·03$$

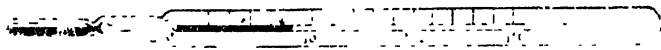
অতএব, হিমমিশ্রণের তাপমাত্রা 0 C হইতে 23·03 ডিগ্রী কম অর্থাৎ ঐ তাপমাত্রা হইল − 23·03°C.

1-8. অন্যান্য থার্মোমিটার ঃ

(ক) ডাক্তারী বা ক্লিনিকাল থার্মোমিটার (Clinical thermometer) :

ডাক্তারগণ শরীরের তাপমাত্রা পরীক্ষা করিবার জন্য এই থার্মোমিটার ব্যবহার করেন। ইহা একটি বিশেষ ধরনের গরিষ্ঠ থার্মোমিটার (maximum thermometer) এবং ফারেনহাইট স্কেলে দাগ কাটা। এই থার্মোমিটারে

ডাক্তারী থার্মোমিটার

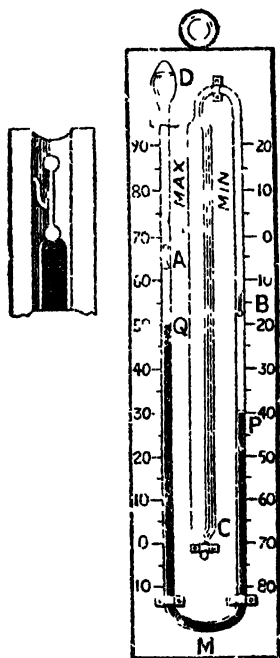
চিত্র 18

95 ডিগ্রী হইতে 110° ডিগ্রী ফারেনহাইট পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে, কারণ মানুষের দেহের তাপমাত্রা ইহার ভিতরে ওঠা-নামা করে। 98·4° ডিগ্রীর কাছাকাছি একটি দাগ দেওয়া থাকে। ইহা স্বাভাবিক (normal) বা সুস্থ দেহের তাপমাত্রা বুঝায়। থার্মোমিটার কুণ্ডটি কোন সুস্থ লোকের বগলে চাপিয়া ধরিলে পারদ 98·4° ডিগ্রী পর্যন্ত পৌঁছাইবে।

থার্মোমিটারের কুণ্ডটির কাছে রন্ধ্র খুব সংকুচিত এবং একটু বাঁকা (চিত্রে C অংশ)। ইহার ফলে মানুষের দেহের তাপমাত্রা অনুযায়ী পারদ সংকুচিত স্থান দিয়া অনায়াসে আয়তনে বাড়িয়া অগ্রসর হইবে কিন্তু দেহের বাহিরে থার্মোমিটার আনিলে পারদ ঐ স্থান দিয়া কুণ্ডে ফিরিয়া আসিতে পারে না।

সুতরাং উহা দেহের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা নির্দেশ করে এবং উহা পড়িবার (reading) সুবিধা হয়। পুনরায় থার্মোমিটার ব্যবহার করিতে হইলে পারদ কুণ্ডে ফিরাইয়া আনিতে হইবে এবং তাহার জন্য থার্মোমিটারে ঝাঁকুনি দিতে হয়। 1চ নং চিত্রে একটি এই ধরনের থার্মোমিটার দেখানো হইয়াছে।

এই থার্মোমিটার কখনও ফুটন্ত জলে ডুবানো উচিত নয়। কারণ ফুটন্ত জলের তাপমাত্রা 110°F-এর অনেক বেশী। সুতরাং ফুটন্ত জলে ডুবাইলে পারদ এত বেশী প্রসারিত হইবার চেষ্টা করিবে যে থার্মোমিটার ফাটিয়া যাইবে।

থার্মোমিটার লক্ষ্য করিলে দেখিবে যে উহার গায়ে '½ minute' বা ঐ ধরনের কোন সময়ের উল্লেখ আছে। ইহার অর্থ এই যে ঐ থার্মোমিটারটিকে বগলে ½ minute রাখিলে উহা দেহের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা প্রদর্শন করিবে।

(2) **সিক্সের গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার** (Six's maximum and minimum thermometer) :

ইহা একটি অ্যালকোহল থার্মোমিটার এবং ফারেনহাইট স্কেল অনুযায়ী দাগ কাটা। এই থার্মোমিটার বিশেষভাবে আবহবিদগণ ব্যবহার করেন। কারণ, ইহা দ্বারা দিনের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন তাপমাত্রা পাওয়া যায়।

1চ নং চিত্রে এই থার্মোমিটার দেখানো হইল। সংবাদসূচক সরু বক্র। কাচনল বাঁকাইয়া অনেকটা U-অক্ষরের মত করা হয় এবং একটি কাঠের ফ্রেমে খাড়াভাবে আবদ্ধ রাখা হয়।

গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার

চিত্র 1চ

কাচনলের PMQ অংশ পারদপূর্ণ। A এবং B দুইটি ইস্পাতের ডাম্বেল আকৃতির সূচক স্প্রীং দ্বারা কাচনলের দেয়ালে আটকানো। (ছবিতে আলাদাভাবে দেখানো হইয়াছে।) সূচকটি ঠেলা খাইলে নল বাহিয়া অগ্রসর হয় কিন্তু ঠেলা না খাইলে স্প্রীং দ্বারা নলের গায়ে আটকাইয়া থাকে। C একটি লম্বা কুণ্ড। এই কুণ্ডটি

ও তৎসংলগ্ন কাচনলের P পর্যন্ত অ্যাল্‌কোহল পূর্ণ। বাঁদিকের কাচনলেও D একটি কুণ্ড। এই কুণ্ডটির কিছু অংশ এবং সংলগ্ন কাঁচনলের Q পর্যন্ত অ্যাল্‌কোহল দ্বারা পূর্ণ। অর্থাৎ, PMQ পারদস্তম্ভ দুই বাহুর অ্যাল্‌কোহলকে পৃথক করিয়া রাখে। D-কুণ্ডের বাকী অংশ অ্যাল্‌কোহল বাষ্প দ্বারা পূর্ণ এবং প্রয়োজন হইলে নলের অ্যাল্‌কোহল আয়তনে বাড়িয়া ঐ স্থান অধিকার করিতে পারে। QD অংশে অ্যাল্‌কোহল রাখিবার ফলে P ও Q পারদতলে চাপ সমান হইবে। কাচনল দুইটির গা বাহিয়া দুইটি স্কেল ফারেনহাইটে দাগ কাটা থাকে। একটি স্কেল উচ্চ হইতে নিম্নে (অর্থাৎ, গরিষ্ঠ স্কেল) এবং অপরটি নিম্ন হইতে উচ্চে (অর্থাৎ, লঘিষ্ঠ স্কেল) দাগ কাটা থাকে।

সর্বপ্রথম একটি চুম্বক দ্বারা বাহির হইতে A ও B সূচকদ্বয়কে টানিয়া Q এবং P পারদপ্রান্তদ্বয়ের সহিত ঠেকাইতে হইবে। এখন যদি তাপমাত্রা বাড়িতে থাকে, তবে C কুণ্ডের অ্যাল্‌কোহল আয়তনে বাড়িয়া P পারদ প্রান্তকে নীচের দিকে ঠেলিয়া দিবে। সঙ্গে সঙ্গে বাঁদিকের বাহুতে Q পারদপ্রান্ত উপরের দিকে উঠিবে এবং তাহার সহিত A সূচককেও উপরের দিকে ঠেলিবে। এরূপে যতক্ষণ তাপমাত্রা বাড়িবে, ততক্ষণ A সূচকও উপরের দিকে উঠিবে এবং তাহার পর দেওয়ালের গায়ে আটকাইয়া থাকিবে। সুতরাং গরিষ্ঠ স্কেল হইতে A সূচকের অবস্থান পাঠ করিলে দিনের গরিষ্ঠ তাপমাত্রা পাওয়া যাইবে।

আবার তাপমাত্রা হ্রাস পাইলে C কুণ্ডের অ্যাল্‌কোহল আয়তনে কমিবে এবং সঙ্গে সঙ্গে P পারদ-প্রান্ত উপরের দিকে উঠিবে। ইহার সহিত B সূচকটি নল বাহিয়া উপরের দিকে অগ্রসর হইবে এবং যখন আর তাপমাত্রা কমিবে না তখন সূচক দেওয়ালের গায়ে আটকাইয়া থাকিবে। সুতরাং লঘিষ্ঠ স্কেল হইতে B সূচকের অবস্থান পাঠ করিলে দিনের লঘিষ্ঠ তাপমাত্রা পাওয়া যাইবে।

1-9. অ্যাল্‌কোহল থার্মোমিটার (Alcohol thermometer) :

তাপমাত্রা মাপিবার জন্য থার্মোমিটারের তরল হিসাবে সর্বপ্রথম অ্যাল্‌কোহলই ব্যবহৃত হইয়াছিল। [illegible] একমাত্র লঘিষ্ঠ ও গরিষ্ঠ থার্মোমিটার ছাড়া অ্যাল্‌কোহল থার্মোমিটারের আর এখন বিশেষ কোন প্রচলন নাই।

পারদ ও অ্যাল্‌কোহলের সুবিধা-অসুবিধা :

(1) পারদ $-39°C$ তাপমাত্রায় জমিয়া যায় এবং $357°C$ তাপমাত্রায় ফুটিতে থাকে। কাজেই এই বিস্তীর্ণ পাল্লার মধ্যে পারদ ব্যবহার করা যাইবে। কিন্তু অ্যাল্‌কোহলের হিমাঙ্ক $-130°C$ এবং স্ফুটনাঙ্ক $78°C$ হওয়ায়, অ্যাল্‌কোহলের বেলাতে এই পাল্লা সংকীর্ণ। কিন্তু অ্যাল্‌কোহলের হিমাঙ্ক পারদ অপেক্ষা অনেক কম হওয়ায় নিম্ন তাপমাত্রা পরিমাপে অ্যালকোহল সুবিধাজনক।

(2) বিভিন্ন তাপমাত্রায় পারদের প্রসারণ নিয়মিত কিন্তু অ্যাল্‌কোহলের প্রসারণ অনিয়মিত। এই কারণে পারদ থার্মোমিটারের অংশাঙ্কন খুব সহজ এবং অ্যাল্‌কোহল থার্মোমিটারের অংশাঙ্কন কঠিন ও ব্যয়বহুল।

(3) পারদ অস্বচ্ছ ও চক্‌চকে হওয়ায় কাচের ভিতর দিয়া পারদ সহজে দেখা যায়, কিন্তু অ্যাল্‌কোহল স্বচ্ছ বলিয়া কাচের ভিতর দিয়া দেখিবার জন্য উহাকে রং করিয়া লইতে হয়।

(4) পারদের আপেক্ষিক তাপ (0·033) অ্যালকোহলের আপেক্ষিক তাপ (0·6) অপেক্ষা কম, কিন্তু পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব (13·6), অ্যাল্‌কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব (0·8) অপেক্ষা অনেক বেশী। ফলে, সমআয়তন পারদ ও অ্যাল্‌কোহলের ভিতর তাপগ্রাহিতার তুলনা করিলে দেখা যাইবে যে পারদের তাপগ্রাহিতা অ্যালকোহল অপেক্ষা বেশী। ইহাতে যে-বস্তুর তাপমাত্রা মাপিতে হইবে তাহা হইতে পারদ থার্মোমিটার অ্যালকোহল থার্মোমিটার অপেক্ষা বেশী তাপ শোষণ করিবে। থার্মোমিটারের নীতির দিক হইতে পারদের পক্ষে ইহা একটি অসুবিধা।

(5) পারদ তাপের সুপরিবাহী কিন্তু অ্যাল্‌কোহল তাপের সুপরিবাহী নয়। ফলে, পারদ থার্মোমিটারে পরীক্ষাধীন বস্তুর তাপমাত্রা যত দ্রুত লাভ করিবে অ্যাল্‌কোহল থার্মোমিটার তাহা পারিবে না।

(6) পারদ কাচ ভিজায় না। এই কারণে কাচের রন্ধ্র বাহিয়া পারদ ঝাঁকি দিয়া দিয়া উঠিবে—মসৃণ ভাবে উঠিবে না। কিন্তু অ্যাল্‌কোহল কাচ ভিজায়, কাজেই অ্যাল্‌কোহলের অগ্রসরে মসৃণতা থাকিবে। ইহাতে একটি অসুবিধা আছে। তাপমাত্রা হ্রাস পাইলে যখন অ্যাল্‌কোহল নামিয়া আসে তখন রন্ধ্রের গায়ে পাতলা অ্যাল্‌কোহলের প্রলেপ লাগিয়া থাকে। ইহাতে তাপমাত্রার পাঠে ত্রুটি আসে।

(7) পারদের প্রসারণগুণাঙ্ক 0·00018 কিন্তু অ্যাল্‌কোহলের 0·00104; ফলে তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে পারদ অপেক্ষা অ্যাল্‌কোহলের প্রসারণ অনেক বেশী হইবে। অর্থাৎ অ্যাল্‌কোহল থার্মোমিটার পারদ থার্মোমিটার অপেক্ষা বেশী সুবেদী।

সারাংশ

তাপ : তাপ একপ্রকার শক্তি। ইহার গ্রহণে বস্তু গরম হইয়া উঠে এবং বর্জনে ঠাণ্ডা হইয়া যায়। তাপশক্তিকে বুঝিতে হইলে কোন বস্তুর মাধ্যমে বুঝিতে হয়। কোন বস্তুর অণু পরমাণুর গতিশক্তিই বস্তুতে তাপের আকারে দেখা দেয়। সুতরাং তাপকে 'গতির একপ্রকার রূপ' বলিয়া ধরা যাইতে পারে।

তাপমাত্রা : তাপমাত্রা বস্তুর এমন এক তাপীয় অবস্থা যাহা হইতে আমরা জানিতে পারি যে ঐ বস্তু অন্য বস্তুকে তাপ দিবে কিংবা অন্য বস্তু হইতে তাপ গ্রহণ করিবে। বেশী তাপমাত্রার বস্তু কম তাপমাত্রার বস্তুকে তাপ প্রদান করে এবং কম তাপমাত্রার বস্তু বেশী তাপমাত্রার বস্তু হইতে তাপ গ্রহণ করে।

এই সম্পর্কে তাপমাত্রাকে তরলের তলের সহিত তুলনা করা যাইতে পারে। কিছু পরিমাণ জলের সহিত উহার তলের যে তফাৎ, তাপের সহিত তাপমাত্রার সেই তফাৎ। তাহারা তাপ কারণ—তাপমাত্রা উহার ফল।

থার্মোমিটার : তাপমাত্রামাপক যন্ত্রকে থার্মোমিটার বলে। পদার্থের বিভিন্ন ধর্মকে অবলম্বন করিয়া বিভিন্ন প্রকারের থার্মোমিটারের উদ্ভব হইয়াছে। ইহার ভিতর পারদ থার্মোমিটারের প্রচলনই বেশী। কয়েকটি কারণে অন্যান্য তরল অপেক্ষা থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহার করা সুবিধাজনক। একটি সরু ছিদ্রবিশিষ্ট কাচনল পারদপূর্ণ করিয়া এই থার্মোমিটার তৈয়ারী করা হয়। ইহার দুইটি স্থিরাঙ্ক আছে।

থার্মোমিটার স্কেল : পারদ থার্মোমিটারের দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী স্থান ভাগ করিবার বিভিন্ন প্রণালীর উপর বিভিন্ন থার্মোমিটার স্কেল সৃষ্টি হইয়াছে। প্রধান দুইটি স্কেল হইতেছে (1) সেণ্টিগ্রেড এবং (2) ফারেনহাইট।

সেণ্টিগ্রেডে নিম্নস্থিরাঙ্ক 0° এবং উর্ধ্বস্থিরাঙ্ক 100°. কিন্তু ফারেনহাইটে নিম্নস্থিরাঙ্ক 32° এবং উর্ধ্বস্থিরাঙ্ক 212°.

দুই স্কেলের সম্পর্ক : কোন তাপমাত্রা সেণ্টিগ্রেডে যদি C হয় এবং ফারেনহাইটে F হয় তবে,

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$$

ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটার : ইহা পারদপূর্ণ ফারেনহাইট থার্মোমিটার। ডাক্তারগণ মানুষের দেহের তাপমাত্রা দেখিবার জন্য এই থার্মোমিটার ব্যবহার করেন। এই থার্মোমিটারে 95° হইতে 110° পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে।

গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার : ইহা অ্যাল্‌কোহলপূর্ণ ফারেনহাইট থার্মোমিটার। দিনের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন তাপমাত্রা এই থার্মোমিটার হইতে পাওয়া যায়। আবহাওয়া অফিসে এই থার্মোমিটার বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।

প্রশ্নাবলী

1. তাপ ও তাপমাত্রার ভিতর প্রভেদ কি?

[What is the difference between 'heat' and 'temperature'?]

2. থার্মোমিটার কাহাকে বলে? পারদ থার্মোমিটার নির্মাণের প্রণালী বর্ণনা কর। থার্মোমিটারের রন্ধ্র সমান ব্যাসযুক্ত না হইলে ক্ষতি কি? থার্মোমিটারের রন্ধ্রের শীর্ষের ছোট কুণ্ডের কাজ কি?

[What is a thermometer? Describe the construction of a mercury thermometer. Is it necessary that tube of the thermometer should be of uniform bore throughout? What is the function of the small bulb at the upper end of the capillary of a thermometer?] [*cf. H. S. Exam., 1960*]

3. দুইটি থার্মোমিটারের একটির কুণ্ড আকারে বড় এবং অপরটির রন্ধ্র খুব সরু। উভয়ের সুবিধা-অসুবিধা বিশ্লেষণ কর।

[There are two thermometers of which one has the larger bulb and the other finer bore. Explain the advantage and disadvantage in each case.]

4. থার্মোমিটারের স্থিরাঙ্ক কাহাকে বলে? এই স্থিরাঙ্ক নির্ণয়ের প্রণালী বিশদভাবে বর্ণনা কর। 'প্রাথমিক অন্তর' বলিতে কি বোঝ?

[What are the fixed points of a thermometer? Describe, in detail, the method for ascertaining the fixed points. What do you mean by 'fundamental interval'?] [*cf. H. S. Exam., 1962.*]

5. থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা কি? পারদ ছাড়া অন্য কি তরল ব্যবহার করা যায়?

[What are the advantages of using mercury in a thermometer? What other liquid can be used?]

6. কত রকমের থার্মোমিটার স্কেল আছে? উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[How many thermometric scales are generally in use? Ascertain relations between them.]

7. দার্জিলিং-এ কোন এক শীতের দিনে সর্বনিম্ন তাপমাত্রা 30° ফারেনহাইট। সেন্টিগ্রেডে ঐ তাপমাত্রা কত হইবে ?

[On a certain winter day in Darjeeling the minimum temperature was found to be 30° Fahrenheit. What was it in Centigrade scale ?] [Ans. $-1.11°$]

8. কোন্ তাপমাত্রা ফারেনহাইট ও সেন্টিগ্রেড স্কেলে সমান হইবে ?

[Find the temperature which will be expressed by the same number both on the Fahrenheit and the Centigrade scales]

[Ans, - 40°] [*H S Exam., 1960*]

9. এ পর্যন্ত যা সর্বনিম্ন তাপমাত্রা পাওয়া গিয়াছে তাহা – 270° সেন্টিগ্রেড। ফারেনহাইট স্কেলে তাহা কত ?

[The minimum temperature so far attainable is - 270° Centigrade. What is it on Fahrenheit scale ?] [Ans. – 454°]

10. কোন থার্মোমিটারে স্ফুটনাঙ্ক 160° এবং হিমাঙ্ক 15° দাগ কাটা আছে। এই থার্মোমিটারে কোন তাপমাত্রা 78° হইলে সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইটে কত হইবে ?

[The boiling point and freezing point of a thermometer are 160° and 15° respectively. What would be the temperature on Centigrade and Fahrenheit scales when it shows a temporatue of 78° ?] [Ans. 40°C · 104°F]

11. একটি থার্মোমিটারের হিমাঙ্ক 20° এবং স্ফুটনাঙ্ক 150° দাগ কাটা আছে। সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারে কোন তাপমাত্রা 45° হইলে ঐ থার্মোমিটারে কত হইবে ?

[The freezing point on a thermometer is marked 20° and the boiling point 150°. What reading would this thermometer give for a temperature of 45°C .]

[Ans. 78·5°]

12. একটি ঘরে দুইটি থার্মোমিটার টাঙানো আছে। একটিতে 15° এবং অপরটিতে 59° পাঠ পাওয়া যাইতেছে। এই পার্থক্যের কারণ বিশদভাবে বর্ণনা কর।

একটি ফারেনহাইট থার্মোমিটারে যখন 110° তাপমাত্রা পাঠ দিতেছে তখন একটি ত্রুটিপূর্ণ সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারের পাঠ হইতেছে 44° ; ঐ থার্মোমিটারের ত্রুটি কতখানি ?

[Two thermometers are hung up in a room One registers a temperature of 15° and the other 59°. Explain fully the meaning of this difference.

A Faherenheit thermometer registers 110° while a faulty Centigrade thermometer registers 44° What is the error in the letter ?]

[Ans. – 0·67°C.]

13. থার্মোমিটারের স্থিরাঙ্ক কিরূপে নির্ণয় করা হয় ব্যাখ্যা কর। বায়ুমণ্ডলের চাপ স্বাভাবিক অপেক্ষা বেশী কি কম তাহা থার্মোমিটারের সাহায্যে কিরূপে নির্ণয় করা যায় ?

একটি ত্রুটিপূর্ণ সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারে নিম্নস্থিরাঙ্ক ও ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক যথাক্রমে +0·5 এবং 100·8 দাগ কাটা আছে। ঐ থার্মোমিটার যখন 20 পাঠ দিতেছে তখন ত্রুটিহীন সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারে কত পাঠ হইবে ?

[Explain how the fixed points of a thermometer are determined. How could a thermometer be used to find whether the atmospheric pressure were above or below the normal ?

The readings of a faulty Centigrade thermometer at the lower and upper fixed points are respectively +0 5 and 100 8. Find the correct temperature on the Centigrade scale when the faulty thermometer reads 20.]

[*H S (comp) 1960*] [Ans. 19·4°C (প্রায়)

14. একটি সেণ্টিগ্রেড থার্মোমিটারে হিমাঙ্ক 1 5°C এবং 747 mm. পারদের চাপে ফুটন্ত জলের স্টীমে 98·5°C দেখাইতেছে। যখন ঐ থার্মোমিটারে 20°C পাঠ পাওয়া যাইতেছে তখন ফারেনহাইট স্কেলে নির্ভুল তাপমাত্রা কত ? 784 mm পারদের চাপে জল 99°C তাপমাত্রায় ফোটে।

[A Centigrade thermometer reads 1·5°C in melting ice and 98·5°C in steam from water boiling at 747 mm. pressure. What is the correct temperature in Fahrenheit scale when this thermometer reads 20°C ? Boiling point of water at 784 mm. pressure is 99°C.] [Ans. 66·1°]

15. কোন্ তাপমাত্রাতে ফারেনহাইটে ডিগ্রী পাঠ সেণ্টিগ্রেড ডিগ্রী পাঠের 5 গুণ হইবে ?

[Find out the temperature when the degrees of the Fahrenheit thermometer will be 5 times as the corresponning degrees of the Centigrade thermometer ?] [*H S. (Comp) 1963*] [Ans. 10°C or 50°F]

16. একই তাপমাত্রা সেণ্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট থার্মোমিটারে পাঠ করিয়া 56° তফাৎ পাওয়া গেল। উভয় থার্মোমিটারে ঐ তাপমাত্রা কত ?

[The same temperature when read on a Centigrade and Fahrenheit thermometer gives a difference of 56° What is the number of degrees indicated by each thermometer ?] [Ans 30°C or 86°F]

17. একটি ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটার বরফে রাখিলে 5°C এবং স্বাভাবিক বায়ুচাপে শুষ্ক স্টীমে রাখিলে 99°C পাঠ দেয়। ঐ থার্মোমিটারে যখন 52°C পাঠ পাওয়া যায় তখন সঠিক পাঠ কত ?

[A faulty thermometer reads 5°C in melting ice and 99°C in dry steam at normal atmospheric pressure. Find the correct temperature when the thermometer reads 52°C.] [Ans. 50°C.]

18. একটি থার্মোমিটারের (A) প্রাথমিক অন্তর (F. I.) 45 সমান ভাগে এবং অপর একটির (B) 100 সমান ভাগে বিভক্ত। A-র নিম্নস্থিরাঙ্ক −2° এবং B-এর 50° ; কোন তাপমাত্রা B-থার্মোমিটারে 110° হইলে A-থার্মোমিটারে কত হইবে ?

[A thermometer (A) has got its F. I. divided into 45 equal parts and another (B) into 100. If the lower fixed point of A is marked −2° and that of B 50°, what is the temperature by A when it is 110° by B ?] [Ans. 25°]

19. ক্লিনিকাল থার্মোমিটার বর্ণনা কর এবং উহার ব্যবহার উল্লেখ কর। ইহাকে গরিষ্ঠ থার্মোমিটার হিসাবে গণ্য করিবার কারণ কি ?

Describe a clinical thermometer and mention its uses. Why can it be considered as a maximum thermometer ?

cf. H. S. Exam., 1960]

20. একটি সুন্দর নক্সা দ্বারা সিক্সের গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার বর্ণনা কর এবং উহার কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও।

[Describe with a neat diagram, Six's maximum and minimum thermometer and explain its action.]

21. দিনের সর্বোচ্চ ও রাত্রির সর্বনিম্ন তাপমাত্রা মাপিবার একটি উপযুক্ত যন্ত্রের ছবি আঁক এবং বিভিন্ন অংশের নাম লেখ। যন্ত্রটির বিন্যাস ও পঠনপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[Give a labelled diagram of the apparatus you would use for determining the highest day-temperature and the lowest night temperature in a room. Explain how the apparatus is read and set.] [*H. S Exam. 1961*]

22. সেণ্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট তাপমাত্রাযুক্ত নিম্নলিখিত ছকটি পূরণ কর :—

সেণ্টিগ্রেড	−50°			10°		45°	75°	
ফারেনহাইট		−13°	23°		59°			203°

[Fill up the gaps in the following table which is drawn up according to Centigrade and Fahrenheit scales :—

Centigrade	−50°			10°		45°	75°	
Fahrenheit		−13°	23°		59°			203°

23. থার্মোমিটারের তরল হিসাবে পারদ ও অ্যাল্‌কোহলের সুবিধা অসুবিধা উল্লেখ কর।

[Mention the advantages and disadvantages of mercury and alcohol as thermometric liquids.]

[Objective type questions]

নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে যেটি অভ্রান্ত তাহার ডানদিকের শূন্যস্থানে C এবং যেগুলি ভ্রান্ত তাহার স্থানে W লেখ :—

(i) তাপকে একপ্রকার শক্তি বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে কারণ তাপকে আলোক প্রভৃতি অন্যান্য শক্তিতে পরিণত করা যায়। —

(ii) পারদ থার্মোমিটারের কুণ্ড বৃহৎ এবং কাচনলের রন্ধ্র খুব সরু হইলে ঐ থার্মোমিটার দ্বারা তাপমাত্রা খুব নিখুঁতভাবে নির্ণয় করা যায়। —

(iii) কোন বস্তুতে তাপমাত্রার অস্তিত্ব না থাকিলে তাপেরও অস্তিত্ব থাকিতে পারে না ; কেন না তাপমাত্রা হইল কারণ এবং তাপ হইল উহার ফল। —

(iv) দুইটি বস্তুর তাপমাত্রা এক হইলে উহাদের তাপের পরিমাণও এক হইবে : আবার তাপের পরিমাণ এক হইলে তাপমাত্রাও এক হইবে। —

(v) ঊর্ধ্ব বা নিম্ন স্থিরাঙ্ক নির্ণয়ে বায়ুমণ্ডলের চাপের কোন হিসাব রাখিবার প্রয়োজন হয় না। —

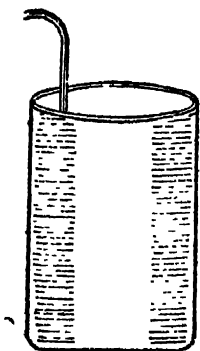
(vi) এক সেণ্টিগ্রেড ডিগ্রী এক ফারেনহাইট ডিগ্রী $\frac{5}{9}$. —

(vii) পারদ থার্মোমিটারের নলটির প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সমান না হইলেও তাপমাত্রা নির্ধারণে কোন অসুবিধা হয় না। —

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

ক্যালরিমিতি (Calorimetry)

2-1. ক্যালরিমিতি (Calorimetry):

তাপ একটি প্রাকৃতিক (physical) রাশি। সুতরাং ইহার পরিমাপ সম্ভব। যখন কোন বস্তু তাপ গ্রহণ বা বর্জন করিয়া নিজস্ব তাপমাত্রার পরিবর্তন করে তখন যে-পদ্ধতিতে বস্তুর সেই তাপ পরিমাপ করা হয় তাহাকে ক্যালরিমিতি বলে।

ক্যালরিমিটার ও আলোড়ক
চিত্র 2ক

যে-পাত্রের দ্বারা তাপের পরিমাপ করা হয় তাহাকে **ক্যালরিমিটার** বলে। ক্যালরিমিটার আর কিছুই নয়—তামার একটি চোঙাকৃতি পাত্র (2ক নং চিত্র)। ইহার সহিত তামার তৈয়ারী একটি আলোড়ক (stirrer) থাকে। ক্যালরিমিটারের ভিতরকার তরল পদার্থ নাড়িবার জন্য এই আলোড়কের প্রয়োজন।

2-2. তাপ পরিমাপের একক (Units of measurement of heat):

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে কোন রাশির পরিমাপ করিতে গেলে উহাকে যথোপযুক্ত এককে প্রকাশ করিতে হয়। সুতরাং, তাপ পরিমাপের উপযুক্ত একক প্রয়োজন।

তাপ পরিমাপের যে-সমস্ত বিভিন্ন একক আছে তাহা নিম্নে বলা হইল।

ক্যালরি (Calorie): এক গ্র্যাম জলের এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে **ক্যালরি** বলে। সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে তাপের একক ক্যালরি।

বৃটিশ থার্মাল একক (British thermal unit) : এক পাউণ্ড জলের এক ডিগ্রী ফারেনহাইট তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে বৃটিশ থার্মাল একক বলে। ইহা এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে তাপের একক এবং ইংলণ্ডে এই একক সমধিক প্রচলিত।

থার্ম (Therm) : ইহা ইংলণ্ডে প্রচলিত বাণিজ্য সংক্রান্ত (commercial) তাপের একক। ইংলণ্ডে রন্ধন ইত্যাদি কাজের জন্য যে-গ্যাস সরবরাহ করা হয় তাহার মূল্য থার্ম এককের ভিত্তিতে ধার্য করা হয়।

1 থার্ম = 100,000 বৃটিশ থার্মাল একক।

সুতরাং 100,000 পাউণ্ড জলের এক ডিগ্রী ফারেনহাইট তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন তাহাকে থার্ম বলা যাইতে পারে।

পাউণ্ড ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড একক অথবা সেন্টিগ্রেড তাপ একক (Centigrade heat unit—C. H. U.) :

এই এককটি এফ. পি. এস্. এবং সি. জি. এস. পদ্ধতির মিশ্রণে গঠিত এক মিশ্র একক। এন্‌জিনীয়ারীং এবং কারিগরী বিভাগে তাপের এই এককটি সমধিক প্রচলিত।

এক পাউণ্ড জলের তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন তাহাকেই পাউণ্ড ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড একক ধরা হয়। লক্ষ্য কর যে জলের ভর প্রকাশ করা হইয়াছে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে এবং তাপমাত্রা প্রকাশ করা হইয়াছে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে। এই কারণে এই একক-কে মিশ্র একক বলা হয়।

গড় ক্যালরি ও 15°C ক্যালরি (Mean calorie and 15°C calorie) :

ক্যালরির সংজ্ঞা বলার সময় বলা হইয়াছে যে এক গ্রাম জলের এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে ক্যালরি বলে। এই 'এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড' কোথা হইতে কোন্ পর্যন্ত—0°C হইতে 1°C কিংবা 20°C হইতে 21°C কিংবা অন্য কিছু—তাহা বলা হয় নাই। প্রকৃতপক্ষে এক গ্রাম জলকে 0°C হইতে 1°C উষ্ণ করিতে যে তাপ প্রয়োজন 20°C হইতে 21°C উষ্ণ করিতে ঠিক সেই তাপের প্রয়োজন হয় না। অর্থাৎ, তাপমাত্রা স্কেলের বিভিন্ন অংশের 1°C ব্যবহার করিলে ফলাফল সর্বদা ঠিক এক হয় না। এই অসুবিধা দূর করিবার জন্য **গড় ক্যালরি** উদ্ভাবন করা হইয়াছে। ইহার সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

এক গ্রাম জলকে 0°C হইতে 100°C পর্যন্ত উষ্ণ করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে 100 দ্বারা ভাগ করিলে যে-তাপ পাওয়া যাইবে উহাকে গড় ক্যালরি নাম দেওয়া হইয়াছে।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে এক গ্রাম জলকে 14·5°C হইতে 15·5°C উষ্ণ করিতে যে-তাপ লাগে তাহা উপরোক্ত গড় ক্যালরির প্রায় সমান। এই কারণে এই বিশেষ তাপকে একটি একক বলিয়া গণ্য করা হয় এবং উহাকে 15°C ক্যালরি নাম দেওয়া হইয়াছে।

2-3. (i) ক্যালরি ও বৃটিশ থার্মাল এককের পারস্পরিক সম্পর্ক :

1 বৃটিশ থার্মাল একক = 1 lb জলের 1°F উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ

= 453 6 gms জলের 1°F উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ

[∵ 1 lb = 453·6 gms]

= 453·6 gms জলের $\frac{5}{9}$°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ

[∵ 1°F = $\frac{5}{9}$°C]

= $453{\cdot}6 \times \frac{5}{9}$ calories.

= 252 calories.

সুতরাং 1 বৃটিশ থার্মাল একক = 252 ক্যালরি।

(ii) ক্যালরি ও পাউণ্ড-ডিগ্রী-সেন্টিগ্রেড এককের পারস্পরিক সম্পর্ক :

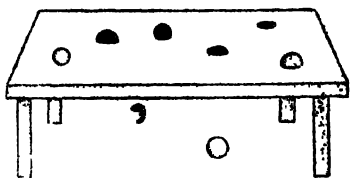
1 পাউণ্ড-ডিগ্রী-সেন্টিগ্রেড একক = 1 lb × 1°C

= 453·6 × 1°C

= 453 6 calories.

2-4. আপেক্ষিক তাপ (Specific heat) **:**

আমরা যদি সমপরিমাণ বিভিন্ন দ্রব্য লই—যথা, সীসা, লোহা, তামা ইত্যাদি এবং উহাদের সমপরিমাণ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য তাপ প্রদান করি তবে দেখিব যে বিভিন্ন দ্রব্যে বিভিন্ন পরিমাণ তাপ দিতে হইতেছে। সুতরাং বিভিন্ন দ্রব্যের তাপ গ্রহণ করিবার ক্ষমতা শুধু দ্রব্যের ভর বা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না। নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলির দ্বারা এই ব্যাপারটি সুন্দরভাবে বোঝা যাইবে।

পরীক্ষা : (1) সীসা, তামা, লোহা ইত্যাদি বিভিন্ন পদার্থের সমান ভরের (mass) কতকগুলি বল লও। তাপ প্রদান করিয়া উহাদের সমান তাপমাত্রা বৃদ্ধি কর। এবার একসঙ্গে তাড়াতাড়ি বলগুলিকে একটি মোমের প্লেটের উপরে রাখ। দেখিবে যে বলগুলি বিভিন্ন পরিমাণ মোম গলাইবে। কোনটি সম্পূর্ণ গলাইয়া পড়িয়া যাইবে, কোনটি বা অর্ধেক গলাইবে ইত্যাদি (2খ নং চিত্র)।

বলগুলি বিভিন্ন পরিমাণ মোম গলাইতেছে
চিত্র 2খ

ইহা ইহাতে বোঝা যায় যে যদিও বলগুলির ভর সমান এবং একই তাপমাত্রার হ্রাস হইল (কারণ প্রত্যেকটিই এক প্রাথমিক তাপমাত্রা হইতে মোম গলনের তাপমাত্রায় পৌছিল) তবুও তাহারা বিভিন্ন পরিমাণ তাপ ছাড়িয়া দিল। সুতরাং তাপ বর্জন শুধু ভর বা তাপমাত্রা পরিবর্তনের উপর নির্ভর করিল না।

(2) দুইটি একই ধরনের কেটলী লইয়া উহাতে সমপরিমাণ জল ও দুধ ঢাল। কেটলী দুইটিকে একই উনানের উপর পাশাপাশি রাখ। কিছুক্ষণ পরে উহাদের ভিতর দুইটি থার্মোমিটার প্রবেশ করাইয়া তাপমাত্রা দেখিলে দেখিতে পাইবে যে জল অপেক্ষা দুধের তাপমাত্রা বেশী। থার্মোমিটারের প্রতি লক্ষ্য রাখিলে দেখা যাইবে যে দুধের তাপমাত্রা বৃদ্ধি সর্বদা জল অপেক্ষা বেশী হইতেছে। অর্থাৎ, বলা যাইতে পারে যে পরিমাণে সমান হইলেও এবং একই তাপ পাইলেও দুধ এবং জলের তাপমাত্রাবৃদ্ধি ভিন্ন হইতেছে। কাজেই তাপমাত্রাবৃদ্ধি শুধু ভর বা তাপের উপর নির্ভর করিল না।

সুতরাং উপরোক্ত দুইটি পরীক্ষা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে **বিভিন্ন দ্রব্য কর্তৃক তাপ গ্রহণ বা বর্জন শুধু দ্রব্যগুলির ভর বা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না। আবার বিভিন্ন দ্রব্যের তাপমাত্রা বৃদ্ধিও শুধু দ্রব্যের ভর বা তাপের উপর নির্ভর করিবে না।** দ্রব্যের একটি বিশেষ ধর্মের উপর উহারা নির্ভর করিবে। দ্রব্যের এই বিশেষ ধর্ম হইল **আপেক্ষিক তাপ।**

উপরোক্ত প্রথম পরীক্ষায় ধাতব বলগুলি বিভিন্ন তাপ বর্জন করে কারণ বিভিন্ন ধাতুর আপেক্ষিক তাপ এক নহে এবং দ্বিতীয় পরীক্ষায় দুধ এবং জলের তাপমাত্রাবৃদ্ধি আলাদা হইল, কারণ দুধ ও জলের আপেক্ষিক তাপ আলাদা।

2-5. আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা :

কোন পদার্থের নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ প্রয়োজন তাহা সমভর জলের সমতাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপের যতগুণ সেই অনুপাতকে উক্ত পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে।

কঠিন বা তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ে জলকে নির্দিষ্ট মান (standard) ধরিয়া লইতে হয়।

যদি বস্তুর এক একক ভর লওয়া হয় এবং 1° ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হয় তবে উপরোক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী লেখা যাইবে,

$$\text{আঃ তাঃ} = \frac{\text{বস্তুর 1 একক ভরের } 1^\circ \text{ ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ}}{\text{জলের 1 ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,,}}$$

সুতরাং **আপেক্ষিক তাপ দুইটি তাপের অনুপাত বলিয়া একটি সংখ্যা মাত্র। ইহার কোন একক নাই।**

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক গ্রাম এবং তাপমাত্রার একক সেন্টিগ্রেড। কাজেই এই পদ্ধতিতে

$$\text{আঃ তাঃ} = \frac{\text{1 গ্রাম বস্তুর } 1^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{1 গ্রাম জলের } 1^\circ \text{ ,, ,, ,, ,, ,, ,,}}$$

কিন্তু ক্যালরির সংজ্ঞানুযায়ী উপরোক্ত অনুপাতের হর (denominator) 1 ক্যালরি।

সুতরাং কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলিতে ঐ পদার্থের 1 গ্রাম ভরকে 1° সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা-বৃদ্ধির জন্য যত ক্যালরি তাপ প্রয়োজন তাহার সমান বুঝায়। যথা, তামার আপেক্ষিক তাপ ·09 ; ইহার অর্থ এই যে 1 গ্রাম তামাকে এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণ করিতে ·09 ক্যালরি তাপ প্রয়োজন।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক পাউণ্ড এবং তাপমাত্রার একক ফারেনহাইট। কাজেই এই পদ্ধতিতে,

$$\text{আঃ তাঃ} = \frac{\text{1 পাউণ্ড বস্তুর } 1^\circ \text{ ফাঃ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{1 পাউণ্ড জলের 1 ,, ,, ,, ,, ,, ,,}}$$

কিন্তু বৃটিশ থার্মাল এককের সংজ্ঞা অনুযায়ী উপরোক্ত অনুপাতের হর 1 বৃটিশ থার্মাল একক।

সুতরাং কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলিতে ঐ পদার্থের 1 পাউণ্ড ভরকে 1° ফারেনহাইট উষ্ণ করিতে যত বৃটিশ থার্মাল একক তাপ প্রয়োজন

তাহার সমান হইবে। যেমন, তামার আপেক্ষিক তাপ ·09; ইহার অর্থ এই যে 1 পাউণ্ড তামাকে 1° ডিগ্রী ফারেনহাইট উষ্ণ করিতে ·09 বৃটিশ থার্মাল একক তাপ প্রয়োজন।

উপরোক্ত কারণে কেহ কেহ আপেক্ষিক তাপের জন্য একক ব্যবহার করেন। এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে তাঁহারা প্রতি পাউণ্ডে, প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে বৃটিশ থার্মাল একক (B. Th. U. per pound per degree Fahrenheit) এবং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে প্রতি গ্র্যামে, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ক্যালরি (Calorie per gramme per degree Centigrade)—এই একক ব্যবহার করেন।

2-06 বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি অথবা হ্রাসের জন্য গৃহীত বা বর্জিত তাপের পরিমাণ (Amount of heat either absorbed or given out by a body for a rise or fall of temperature) :

যদি কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয়, তবে আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি,

1 gm বস্তু 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে s calorie.

সুতরাং m gm " " " " " " " " " ms "

" " " " " t°C " " " " " " mst "

অতএব 'm' gm বস্তু (আপেক্ষিক তাপ 's') t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য যদি 'H' calorie তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে, তবে উপরোক্ত হিসাব মত,

$$H = mst \text{ calorie}$$

অর্থাৎ, **গৃহীত বা বর্জিত তাপ = বস্তুর ভর × ইহার আপেক্ষিক তাপ × তাপমাত্রার বৃদ্ধি বা হ্রাস।**

যদি তাপ গ্রহণের পূর্বে বস্তুর তাপমাত্রা t_1 থাকে এবং গ্রহণের পর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া t_2 দাঁড়ায়, তবে তাপমাত্রা বৃদ্ধি $= t_2 - t_1$ এবং সেক্ষেত্রে

$$H = m.s.(t_2 - t_1) \text{ calorie}$$

তেমনি, যদি তাপ বর্জনের পূর্বে বস্তুর তাপমাত্রা t_1 থাকে এবং বর্জনের পর তাপমাত্রা হ্রাস পাইয়া t_2 হয়, তবে তাপমাত্রার হ্রাস $= t_1 - t_2$ এবং সেক্ষেত্রে,

$$H = m.s.(t_1 - t_2) \text{ calorie}$$

উদাহরণ :

(1) একটি তামার বস্তুর ওজন 180 gms ; তামার আপেক্ষিক তাপ ·09. বস্তুটির তাপমাত্রা 25°C হইতে 95°C বৃদ্ধির জন্য কত তাপ লাগিবে ?

[A substance made of copper weighs 180 gms. Sp. heat of copper is ·09. How much heat is required to raise the temperature of the substance from 25°C to 95°C ?]

উ। এক্ষেত্রে, $m = 180$ gms , $s = \cdot 09$, $t_1 = 25°C$; $t_2 = 95°C$.

সুতরাং $H = m.s. (t_2 - t_1)$

$= 180 \times 09 (95 - 25)$

$= 180 \times \cdot 09 \times 70$

$= 18 \times 9 \times 7$

$= 1134$ calorie.

(2) 2·5 lbs অ্যাল্‌কোহলের তাপমাত্রা 68°F হইতে উহার স্ফুটনাঙ্ক 173°F পর্যন্ত বৃদ্ধির জন্য কত তাপের প্রয়োজন হইবে ? [অ্যাল্‌কোহলের আপেক্ষিক তাপ = 0·6]

[How much heat is required to raise temperature of 2·5 lbs. of alcohol from 68°F to its boiling points 173°F ? Sp. heat of alcohol = 0 6]

উ। এস্থলে $m = 2\cdot 5$ lbs , $s = 0\ 6$, $t_1 = 68°F$, $t_2 = 173°F$.

সুতরাং $H = m\ s. (t_2 - t_1)$

$= 2\cdot 5 \times 0\ 6\ (173 - 68)$

$= 2\cdot 5 \times 0\cdot 6 \times 105$

$= 157\cdot 5$ B. Th. U.

(3) 1 therm গ্যাসের খরচ 1s. 3d. হইলে 50 gallons জলকে 40°F হইতে 200°F পর্যন্ত উত্তপ্ত করিতে কত খরচ হইবে ? 1 গ্যালন জলের ওজন 10 lbs.

[If a therm of a gas costs 1s. 3d. find the cost of heating 50 gallons of water from 40°F to 200°F. 1 gallon of water weighs 10 lbs.]

উ। 1 gallon জলের ওজন 10 lbs.

∴ 50 „ „ „ 50 × 10 = 500 lbs.

এখন, প্রয়োজনীয় তাপ = জলের ভর × তাপমাত্রার বৃদ্ধি

$$= 500 \times (200 - 40)$$

$$= 500 \times 160 \text{ B. Th. U.}$$

$$= \frac{500 \times 160}{100,000} \text{ therm}$$

$$= 0 \cdot 8 \text{ therm.}$$

∴ খরচ = 1s. 3d × 0·8 = 12d.

[**দ্রষ্টব্য :** উদাহরণগুলির বিভিন্ন রাশির একক লক্ষ্য কর।]

12-7. বস্তুর তাপগ্রাহিতা (Thermal capacity of a body) :

কোন বস্তুর 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ প্রয়োজন উহাকে বস্তুর তাপগ্রাহিতা বলে।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কোন বস্তুর 1° সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যত ক্যালরি তাপ প্রয়োজন, তাহাই সেই বস্তুর তাপগ্রাহিতা। যদি বস্তুর ভর হয় m gms এবং বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক তাপ হয় s, তবে বস্তুর তাপগ্রাহিতা (C) উক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী দাঁড়ায়,

$$C = m \times s \times 1 \text{ calorie}$$
$$= ms \text{ calorie}$$

এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে কোন বস্তুর 1° Fahrenheit তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য বৃটিশ থার্মাল একক অনুযায়ী যত তাপ প্রয়োজন, তাহাই ঐ বস্তুর তাপগ্রাহিতা। যদি বস্তুর ভর হয় m lbs এবং বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক তাপ হয় s, তবে বস্তুর তাপগ্রাহিতা

$$C = m \times s \times 1 \text{ B. Th. U.}$$
$$= ms \text{ B. Th. U.}$$

কাজেই,

বস্তুর তাপগ্রাহিতা = বস্তুর ভর × ইহার আপেক্ষিক তাপ।

তাপগ্রাহিতা হইতে আমরা আপেক্ষিক তাপের একটি বিকল্প সংজ্ঞা স্থির করিতে পারি। বস্তুর তাপগ্রাহিতাকে ঐ বস্তুর ভর দিয়া ভাগ করিলে বস্তুর আপেক্ষিক তাপ পাওয়া যায় বলিয়া **আপেক্ষিক তাপকে ভর প্রতি বস্তুর তাপগ্রাহিতা** বলা যাইতে পারে।

2-8. বস্তুর জল-সম (Water-equivalent of a body) :

কোন বস্তুর 1° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ লাগে তাহা যে-পরিমাণ জলকে 1° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণ করিবে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে সেই পরিমাণ জলকে ঐ বস্তুর জল-সম বলে।

যেমন একটি ক্যালরিমিটারের জল-সম 10 gms বলিতে ইহাই বুঝায় যে 10 gms জলকে 1°C উষ্ণ করিতে যে তাপের প্রয়োজন তাহা ক্যালরিমিটারকে 1°C উষ্ণ করিবে। অর্থাৎ, 10 gms জল-সম-সম্পন্ন ক্যালরিমিটারের ভিতর যদি 100 gms জল লওয়া হয় তবে তাপ গ্রহণ বা বর্জনের ব্যাপারে আমরা মনে করিতে পারি যে ক্যালরিমিটার নাই—তৎপরিবর্তে 110 gms জল আছে।

ধর, কোন বস্তুর ভর m gms ও বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক তাপ s, তাহা হইলে,

বস্তুটির 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= m \times s \times 1$ calorie.
এখন আমরা জানি 1 calorie তাপ 1 gm জলকে 1°C উষ্ণ করে।

সুতরাং $m \times s$,, ,, $m \times s$,, ,, ,, ,,

অর্থাৎ, বস্তুর **জল-সম** $W = m \times s$ gms.

তেমনি, এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর জল-সম $W = m \times s$ lbs

2-9. তাপগ্রাহিতা ও জল সমের পার্থক্য :

(1) তাপগ্রাহিতা ও জল-সম উভয়েই বস্তুর ভর ও আপেক্ষিক তাপের গুণফল ; অর্থাৎ, উহাদের মান সমান।

(2) তাপগ্রাহিতা কিছু পরিমাণ তাপ বুঝায় ; সুতরাং ইহাকে ক্যালরিতে বা বৃটিশ থার্মাল এককে প্রকাশ করা হয়। কিন্তু জল-সম কিছু পরিমাণ জলকে বুঝায় ; সুতরাং ইহাকে গ্র্যামে বা পাউণ্ডে প্রকাশ করা হয়।

উদাহরণ :

(1) একটি তামার ক্যালরিমিটারের ওজন 75 gms ; তামার আপেক্ষিক তাপ ·09 হইলে ক্যালরিমিটারের তাপগ্রাহিতা ও জল-সম নির্ণয় কর।

[A copper calorimeter weighs 75 gms. If the sp. heat of copper be ·09, calculate the thermal capacity and water equivalent of the calorimeter.]

উ। এস্থলে $m = 75$ gms ; $s = \cdot09$

∴ সুতরাং তাপগ্রাহিতা, $C = m \times s$ calorie

$= 75 \times \cdot09$ calorie

$= 6\cdot75$ calorie

এবং জল-সম, $W = m \times s$ gms

$= 75 \times \cdot09$ gms

$= 6\cdot75$ gms

2-10. ক্যালরিমিতির মূল নীতি (Principle of calorimetry)

ধরা যাউক A এবং B দুইটি বস্তু—A বস্তুর তাপমাত্রা B বস্তু অপেক্ষা বেশী। এখন এই দুই বস্তুকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনিলে A তাপ বর্জন করিবে এবং B সেই তাপ গ্রহণ করিবে। ফলে A বস্তুর তাপমাত্রা কমিতে থাকিবে এবং B বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে। এই তাপ গ্রহণ ও বর্জন চলিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয়ের তাপমাত্রা সমান হয়। যদি মনে করা যায় যে গ্রহণ ও বর্জনের সময় কোন তাপ নষ্ট হইল না, তবে A যে-পরিমাণ তাপ বর্জন করিবে B ঠিক সেই পরিমাণ তাপ গ্রহণ করিবে। অর্থাৎ,

A কর্তৃক বর্জিত তাপ = B কর্তৃক গৃহীত তাপ। ইহাই ক্যালরিমিতির মূল নীতি।

ক্যালরিমিতি সংক্রান্ত পরিমাপে এই মূল নীতি প্রয়োগ করিতে হইলে মূল-নীতি প্রতিষ্ঠার সময় যে অবস্থার কথা ধরিয়া লওয়া হইয়াছে—অর্থাৎ তাপ গ্রহণ বা বর্জনের সময় কোন তাপ নষ্ট হইবে না—তাহা সৃষ্টি করিবার জন্য সতর্কতা অবলম্বন করিতে হইবে। এই উদ্দেশ্যে ক্যালরিমিটারকে এমনভাবে আচ্ছাদিত করিতে হইবে যে পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণ—এই তিন পদ্ধতিতে বাহিরের সহিত ক্যালরিমিটারের কোন তাপ আদান-প্রদান না হয়। তাছাড়া, পরীক্ষাধীন বস্তুকে দীর্ঘ সময়ব্যাপী উত্তপ্ত করা, যাহাতে বস্তু স্থির তাপমাত্রা লাভ করে, উত্তপ্ত বস্তুকে দ্রুত ক্যালরিমিটারে স্থানান্তর করা, ক্যালরিমিটারের তরলকে অনবরত আলোড়িত করা এবং অন্যান্য তাপের উৎস হইতে ক্যালরিমিটারকে সম্পূর্ণরূপে বিচ্ছিন্ন করা ইত্যাদি সতর্কতা অবলম্বন করিতে হইবে। তদুপরি, তরল ও কঠিন বস্তু এমনভাবে নির্বাচন করিতে হইবে যেন উহাদের মধ্যে কোন রাসায়নিক ক্রিয়া না হয়, কারণ প্রত্যেক রাসায়নিক ক্রিয়াতেই কিছু তাপ পরিত্যক্ত বা শোষিত হইবে যাহা ক্যালরিমিতির হিসাবে ধরা যাইবে না।

ক্যালরিমিটারের পরিমাপে জল ব্যবহার করা সুবিধাজনক নহে। ইহার কারণ এই যে অন্যান্য তরলের তুলনায় জলের আপেক্ষিক তাপ অধিক। ফলে, নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপের দরুণ জলে যে তাপমাত্রা বৃদ্ধি হইবে সমভর অন্যান্য তরলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি অপেক্ষা তাহা অনেক কম হইবে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি যত কম হইবে তাহা পাঠ করিতে ভুলও তত বেশী হইবে। এই কারণে অন্য কোন তরল—যেমন, কোন তৈল—ব্যবহার না করিয়া ক্যালরিমিটারে জল ব্যবহার করিলে প্রাপ্ত ফলের শতকরা ভুলের পরিমাণ বেশী হইবে।

2-11. ক্যালরিমিটারের জল-সম নির্ণয় (Determination of water-equivalent of a calorimeter) :

একটি পরিষ্কার ও শুষ্ক ক্যালরিমিটার লইয়া আলোড়ক (stirrer) সহ ওজন কর। ক্যালরিমিটারটি ঠাণ্ডা জল দিয়া অর্ধেক ভর্তি কর এবং ওজন লও। ঠাণ্ডা জলের তাপমাত্রা থার্মোমিটার দ্বারা লক্ষ্য কর। ক্যালরিমিটারকে আর একটি বড় পাত্রে রাখিয়া ক্যালরিমিটার ও পাত্রের মধ্যবর্তী স্থান তুলা, উল বা ঐরূপ কোন তাপের কুপরিবাহী বস্তু দ্বারা পূর্ণ কর। ইহাতে ক্যালরিমিটারের তাপক্ষয় নিবারিত হইবে। এখন অন্য একটি পাত্রে খানিকটা জল উত্তপ্ত কর এবং ইহার তাপমাত্রা দেখিয়া রাখ। তাড়াতাড়ি ঐ উত্তপ্ত জল ক্যালরিমিটারের ঠাণ্ডা জলে মিশাও এবং আলোড়ক দিয়া নাড়িতে থাক। ক্যালরিমিটারে মিশ্রিত জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে এবং যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইতে পাইতে স্থির হইবে তখন সেই চূড়ান্ত তাপমাত্রা দেখ। ক্যালরিমিটার ও অভ্যন্তরস্থ জল যখন আবার পূর্বের ঠাণ্ডা অবস্থায় আসিবে তখন পুনরায় ওজন লও। ধরা যাউক,

ক্যালরিমিটারের জল-সম $= W$ gms

খালি ক্যালরিমিটারের ওজন $= m_1$ gms

ক্যালরিমিটার + ঠাণ্ডাজলের " $= m_2$ gms

" + ঠাণ্ডাজল + গরম জলের ওজন $= m_3$ gms

ঠাণ্ডাজলের তাপমাত্রা $= t_1$°C

গরমজলের " " $= t_2$°C

মিশ্রিত জলের সর্বোচ্চ " $= t$°C

ঠাণ্ডা জলের ওজন $= (m_2 - m_1)$ gms $= m$ gms (ধর)।

যে গরম জল মিশানো হইল উহার ওজন $= (m_3 - m_2) = M$ gms (ধর)।

এক্ষেত্রে গরম জল তাপ বর্জন করিবে এবং সেই তাপ ক্যালরিমিটার ও ঠাণ্ডা জল গ্রহণ করিবে। এখন,

গরম জল কর্তৃক বর্জিত তাপ = গরম জলের পরিমাণ × 1 × তাপমাত্রা হ্রাস
$= M \times (t_2 - t)$ calorie [জলের আঃ তাঃ = 1]
ঠাণ্ডা " " গৃহীত " = ঠাণ্ডা জলের পরিমাণ × তাপমাত্রা বৃদ্ধি
$= m(t - t_1)$ calorie
ক্যালরিমিটার " " " = ক্যালরিমিটারের জল-সম × তাপমাত্রা বৃদ্ধি
$= W(t - t_1)$ calorie

যেহেতু, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

কাজেই, $W(t-t_1)+m(t-t_1)=M(t_2-t)$

অথবা, $W(t-t_1)=M(t_2-t)-m(t-t_1)$

" $W=\dfrac{M(t_2-t)}{t-t_1}-m$ gms.

উপরোক্ত সমীকরণের ডানদিকের সবকিছু জানা থাকায় W নির্ণয় করা যাইবে।

উদাহরণ ঃ

(1) একটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে 15°C তাপমাত্রায় 140 gms জল আছে। উহাতে 35°C তাপমাত্রার 150 gms জল মিশাইলে মিশ্রণের উষ্ণতা 25°C হয়। ক্যালরিমিটারের জল-সম নির্ণয় কর।

[A calorimeter contains 140 gms of water at 15°C. 150 gms of water at 35°C are mixed with it and the mixture attains a final temperature of 25°C. Calculate the water-equivalent of the calorimeter.]

উ। ধরা যাউক W = ক্যালরিমিটারের জল-সম।
গরম জল কর্তৃক বর্জিত তাপ = গরম জলের পরিমাণ × তাপমাত্রা হ্রাস
$= 150 \times (35-25)$
$= 150 \times 10 = 1500$ cal.
ঠাণ্ডা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ = ঠাণ্ডা জলের পরিমাণ × তাপমাত্রা বৃদ্ধি
$= 140 \times (25-15) = 140 \times 10$
$= 1400$ cal.
ক্যালরিমিটার " " " = ক্যালরিমিটারের জল-সম × তাপমাত্রা বৃদ্ধি
$= W \times (25-15) = 10W$ cal

যেহেতু, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

অতএব, $10W + 1400 = 1500$

অথবা, $10W = 100$

$\therefore \quad W = 10$ gms

(2) একটি লোহার পাত্রে 25°C তাপমাত্রায় 100 gms জল আছে। 60°C তাপমাত্রার 50 gms. জল ঐ পাত্রে ঢালা হইল এবং মিশ্রণের তাপমাত্রা 35°C হইল। বিকিরণ অথবা অন্য কোন উপায়ে তাপক্ষয় না হইলে পাত্রের জল-সম কত হইবে নির্ণয় কর। পাত্রের ওজন 238 gms হইলে লোহার আপেক্ষিক তাপ কত?

[An iron saucepan contains 100 gms. of water at 25°C. 50 gms of water at 60°C are poured into the pan and the resultant temperature is found to be 35°C. Calculate the water-equivalent of the pan assuming no loss of heat by radiation or otherwise. If the mass of the pan be 238 gms. what is the sp. heat of iron ?] [*H. S. Exam. (Comp) 1960*]

উ। ধর, পাত্রের জল-সম $= W$ gms.

এখন, উষ্ণ জল কর্তৃক বর্জিত তাপ = উষ্ণ জলের ভর × তাপমাত্রার হ্রাস

$$= 50\,(60-35)$$

$$= 1250 \text{ cal.}$$

পাত্র কর্তৃক গৃহীত তাপ = পাত্রের জল-সম × তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$$= W\,(35-25) = 10W \text{ cal.}$$

পাত্রের ঠাণ্ডা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ = জলের ভর × তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$$= 100\,(35-25) = 1000 \text{ cal.}$$

যেহেতু গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

কাজেই, $10W + 1000 = 1250$

$$\therefore \quad 10W = 250$$

$$\text{or,} \quad W = 25 \text{ gms.}$$

আবার, জল-সম = পাত্রের ভর × পাত্রের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ

কাজেই, $25 = 238 \times s$

$$\therefore \quad s = \frac{25}{238} = 0{\cdot}105 \text{ (প্রায়)}$$

(3) দুইটি বস্তুর ঘনত্বের অনুপাত 2 : 3 এবং আপেক্ষিক তাপ 0·12 এবং 0·09 ; বস্তু দুইটির প্রতি একক আয়তনের তাপগ্রাহিতার অনুপাত নির্ণয় কর।

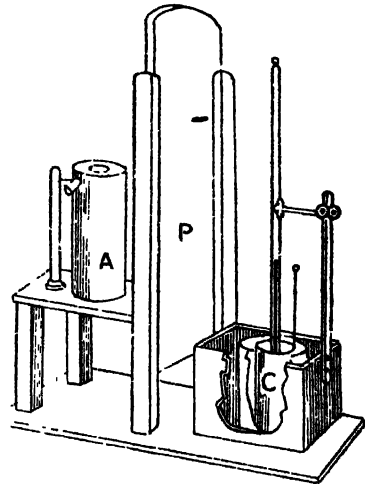
[The densities of two substances are as 2 : 3 and their specific heats are 0·12 and 0·09 respectively. Compare their thermal capacities per unit volume.]

উ। ধর, বস্তু দুইটির ঘনত্ব যথাক্রমে 2ρ এবং 3ρ.
এখন, প্রতি একক আয়তনে উহাদের ভর হইবে $1\times2\rho$ এবং $1\times3\rho$.
যেহেতু তাপগ্রাহিতা = ভর × আপেক্ষিক তাপ
কাজেই, প্রথম বস্তুর তাপগ্রাহিতা $=1\times2\rho\times0.12$
এবং দ্বিতীয় ,, ,, $=1\times3\rho\times0.09$

উহাদের অনুপাত $=\dfrac{1\times2\rho\times0.12}{1\times3\rho\times0.09}=\dfrac{2\times12}{3\times9}=\dfrac{8}{9}$

2-12. মিশ্রণ উপায়ে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (Determination of specific heat of a solid by the method of mixture) **:**

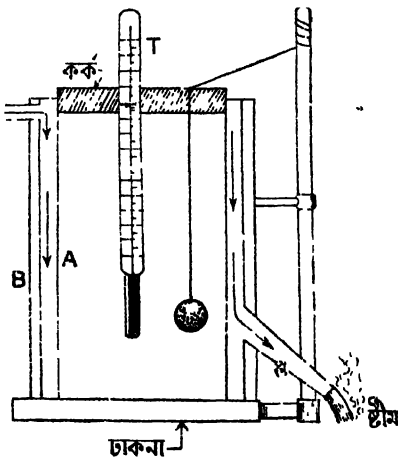
মিশ্রণ উপায়ে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ের জন্য একটি বিশেষ ধরনের যন্ত্র ব্যবহার করিতে হয়। ইহাকে রেনোর যন্ত্র (Regnault's apparatus) বলা হয়। 2গ নং চিত্রে এই যন্ত্রের ছবি দেখানো হইল। এই যন্ত্র ব্যবহারের ফলে পরিবহণ প্রভৃতি পদ্ধতিতে তাপক্ষয় নিবারিত হয়।

যন্ত্রের বিবরণ : A একটি স্টীমতাপনী প্রকোষ্ঠ (steam heater)। 2ঘ নং চিত্রে ইহাকে আলাদা করিয়া দেখানো হইয়াছে। A এবং B দুইটি ধাতব চোঙ (2ঘ নং চিত্র)। A চোঙটির নীচের মুখ আলাদা একটি ঢাকনা দিয়া বন্ধ এবং এই ঢাকনা ইচ্ছামত সরানো বা লাগানো যায়। চোঙের উপরের মুখ কর্ক দিয়া আটকানো এবং এই কর্কের একটি ছিদ্র দিয়া থার্মোমিটার (T) ও অপর একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়া সুতা গলাইবার ব্যবস্থা আছে। B চোঙের উপর দিকের একটি মুখ দিয়া স্টীম ঢুকিতে পারে এবং A ও B চোঙের

আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ে রেনোর যন্ত্র
চিত্র 2গ

মাঝখান দিয়া তলার মুখ হইতে বাহির হইয়া যাইতে পারে। এই ব্যবস্থার ফলে A চোঙের ভিতরকার বস্তু স্টীমের তাপমাত্রা পাইবে অথচ স্টীমের সহিত সাক্ষাৎ সংস্পর্শ হইবে না।

2গ নং চিত্রে সম্পূর্ণ যন্ত্রের ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। A হইতেছে পূর্ববর্ণিত ষ্টীম-তাপনী। C একটি ক্যালরিমিটার—ইহা অন্য একটি তামার পাত্রের ভিতর রক্ষিত এবং মধ্যবর্তী স্থান ফেল্ট দ্বারা পূর্ণ। ইহা তাপক্ষয় নিবারণ করিবে। ক্যালরিমিটারের সহিত যাহাতে ষ্টীম-তাপনীর কোন তাপীয় (thermal) সংযোগ না হইতে পারে সেইজন্য দুইয়ের মাঝখানে একটি কাঠের পার্টিশান P আছে। ইহাকে ইচ্ছামত উপরে বা নীচে তোলা যায়। পার্টিশানকে উপরে তুলিয়া ক্যালরিমিটার C-কে ষ্টীম-তাপনীর তলায় লইয়া যাওয়া হয়।

কার্যপদ্ধতি (Procedure): পরীক্ষাধীন কঠিন পদার্থের একটি সুবিধামত টুক্‌রা লও এবং ইহার ওজন নির্ণয় কর। ষ্টীম-তাপনীর ভিতর সুতা দিয়া ঝুলাইয়া ইহাকে উত্তপ্ত কর (2ঘ নং চিত্র)।

ইতিমধ্যে ক্যালরিমিটার আলোডকসহ ওজন কর। পরে ক্যালরি-মিটারের দুই-তৃতীয়াংশ ঠাণ্ডা জলে ভর্তি করিয়া ওজন লও ও ঠাণ্ডা জলের তাপমাত্রা দেখ। ইতিমধ্যে ষ্টীম-তাপনীতে রক্ষিত বস্তু ষ্টীমের তাপমাত্রা লাভ করিবে। ইহা থার্মোমিটারের সাহায্যে পড়। অতঃপর P পার্টিশান তুলিয়া ধরিয়া ক্যালরিমিটারকে ষ্টীম তাপনীর তলায় আন (2গ নং চিত্র)। তাপনীর তলার ঢাক্‌না সরাইয়া লও এবং তাড়াতাড়ি সুতা ছিঁড়িয়া বস্তুকে ক্যালরিমিটারের জলের ভিতর ফেলিয়া দাও। সঙ্গে সঙ্গে ক্যালরিমিটারকে P-পার্টিশানের ডানদিকে সরাইয়া লইয়া আলোডকের সাহায্যে জল নাড়িতে থাক। একটি থার্মোমিটার উক্ত ক্যালরিমিটারের ভিতর ডুবাইয়া দাও। এস্থলে উত্তপ্ত বস্তু জলকে ও ক্যালরিমিটারকে তাপ প্রদান করিবে। ফলে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে। যখন তাপমাত্রা আর বাড়িবে না তখন সেই চূড়ান্ত (final) তাপমাত্রা পড়।

ষ্টীম-তাপনী
চিত্র 2ঘ

[N.B. লেখকের 'ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞানে' বিশদ বিবরণ দ্রষ্টব্য।]

গণনা (Calculation) :

ধর, পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $= s$

বস্তুর ওজন $= M$ gms

ক্যালরিমিটারের ওজন $= m_1$ gms.

ক্যালরিমিটার + ঠাণ্ডা জলের ওজন $= m_2$ gms

ঠাণ্ডা জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা $= t_1$°C

কঠিন বস্তুর প্রাথমিক তাপমাত্রা $= t_2$°C

ক্যালরিমিটার, কঠিন বস্তু ও জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা $= t$°C

এস্থলে উত্তপ্ত কঠিন বস্তুটি তাপ বর্জন করিবে এবং সেই তাপ ক্যালরিমিটার ও উহার ভিতরকার ঠাণ্ডা জল গ্রহণ করিবে।

কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ $= M \times s \times (t_2 - t)$ cal.

ক্যালরিমিটার „ গৃহীত „ $= m_1 s_1 \times (t - t_1)$ cal.

[s_1 = ক্যালরিমিটার যে-পদার্থের তৈয়ারী উহার আঃ তাঃ]।

ঠাণ্ডা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= (m_2 - m_1)(t - t_1)$ cal

$$= m(t - t_1) \text{ cal.}$$

[ধরা যাউক ঠাণ্ডা জলের ওজন $= m$, $\therefore$ $m = m_2 - m_1$]

যেহেতু, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

অতএব, $Ms(t_2 - t) = m(t - t_1) + m_1 s_1 (t - t_1)$

$$= (t - t_1)(m + m_1 s_1)$$

$$\therefore \quad s = \frac{(t - t_1)(m + m_1 s_1)}{M(t_2 - t)}$$

যদি ক্যালরিমিটারের জল-সম W হয় তবে $W = m_1 s_1$. সেক্ষেত্রে,

$$s = \frac{(t - t_1)(m + W)}{M(t_2 - t)}$$

পরীক্ষায় ত্রুটির কারণ ও উহার প্রতিকার :

(1) উত্তপ্ত বস্তুকে স্টীম-তাপনী হইতে ক্যালরিমিটারে ফেলিবার সময় কিছু তাপ নষ্ট হয়। ইহার ফলে প্রাপ্ত ফল ত্রুটিপূর্ণ হয়।

(2) পরিবহণ ও বিকিরণের দরুন কিছু তাপ ক্ষয় হয়। কিন্তু Regnault-এর ব্যবস্থাতে পরিবহণজনিত তাপক্ষয় অনেকাংশে নিবারিত হয়। বিকিরণের

দরুন যে ত্রুটি আসে তাহা দূর করিতে হইলে জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা ঘরের তাপমাত্রা হইতে যত বেশী হইবে জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা বরফজলের সাহায্যে ঘরের তাপমাত্রা হইতে তত কম করিয়া লইতে হইবে। ইহার ফলে পরীক্ষার শেষে বিকিরণের দরুন যে তাপক্ষয় হইবে পরীক্ষার প্রথমে ঠিক সেই পরিমাণ তাপ সঞ্চিত হইবে এবং প্রাপ্ত ফল নির্ভুল হইবে।

(3) জলের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত তাপমাত্রা নির্ণয় করিতে খুব সুবেদী (sensitive) থার্মোমিটার ব্যবহার করা উচিত।

(4) উত্তপ্ত কঠিন বস্তুটি ক্যালরিমিটারের জলে ফেলিবার সময় সাবধানতা অবলম্বন করিতে হইবে যাহাতে জল ছিটকাইয়া না পড়ে।

(5) এমন কঠিন পদার্থ লইতে হইবে যাহা জলে দ্রবণীয় নয়। কারণ দ্রবণীয় হইলে কিছু লীন-তাপ কঠিন পদার্থ দ্রবণ হইতে গ্রহণ করিবে যাহার হিসাব করা সম্ভব হইবে না।

(6) কঠিন পদার্থ ও জলের ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া হইলে চলিবে না। কারণ প্রত্যেক রাসায়নিক ক্রিয়াতেই কিছু পরিমাণ তাপের উদ্ভব বা শোষণ হয় যাহা উপরোক্ত হিসাবে আসে না।

2-13. মিশ্রণ পদ্ধতিতে তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (Determination of specific heat of liquid by the method of mixtures) :

মিশ্রণ পদ্ধতিতে তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে হইলে কঠিন পদার্থের ন্যায় একই পরীক্ষা-ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে। শুধু ক্যালরিমিটারে জল না লইয়া পরীক্ষাধীন তরল লইতে হইবে এবং এমন একটি কঠিন পদার্থ বাছিয়া লইতে হইবে যাহার আপেক্ষিক তাপ জানা আছে এবং যাহার সহিত পরীক্ষাধীন তরলের কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হইবে না। মনে কর,

কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $= s$

পদার্থখণ্ডের ওজন $= M$ gms

ক্যালরিমিটারের ওজন $= m_1$ gms

তরলের ওজন $= m$ gms

তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা $= t_1°$ C

কঠিন বস্তুর প্রাথমিক তাপমাত্রা $= t_2°$ C

ক্যালরিমিটার, কঠিন বস্তু এবং তরলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা $= t°$ C

তরলের আপেক্ষিক তাপ $= s_2$

এক্ষেত্রে, কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ $= M \times s \times (t_2 - t)$ cal.

ক্যালরিমিটার এবং তরল কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$= (m_1 s_1 + m s_2)\,(t - t_1) \text{ cal.}$$

[s_1 = ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ]

যেহেতু, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

অতএব, $Ms\,(t_2 - t) = (m_1 s_1 + m s_2)\,(t - t_1)$

$$m_1 s_1 + m s_2 = \frac{Ms(t_2 - t)}{t - t_1}$$

$$\therefore \quad s_2 = \frac{Ms(t_2 - t)}{m(t - t_1)} - \frac{m_1 s_1}{m}$$

উপরোক্ত সমীকরণের ডানদিকের সবকিছু বাকি জানা থাকায় s_2 নির্ণয় করা যাইবে।

উদাহরণ ঃ

(1) একখণ্ড কঠিন বস্তুর ওজন 500 gms ও তাপমাত্রা 100°C ; ইহাকে 12°C তাপমাত্রায় 100 gms জলের ভিতর ফেলা হইল। যদি ক্যালরিমিটারের জল-সম 10 gms হয় এবং ক্যালরিমিটারের জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া 49°C হয়, তবে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর।

[A solid weighs 500 gms and is at 100°C. It is dropped into 100 gms of water at 12°C. If the water equivalent of the calorimeter be 10 gms calculate the sp. heat of the solid, the final temperature of the mixture being 49°C.]

উ। এস্থলে উত্তপ্ত কঠিন বস্তুটি তাপ বর্জন করিবে এবং ক্যালরিমিটার ও তৎসহ জল সেই তাপ গ্রহণ করিবে।

ধরা যাউক কঠিন পদার্থের আঃ তাঃ = s

কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ = বস্তুর ভর × ইহার আঃ তাঃ × তাপমাত্রা হ্রাস

$= 500 \times s \times (100 - 49)$ cal.

$= 25500 \times s$ cal.

জল কর্তৃক গৃহীত তাপ = জলের ভর × ইহার আঃ তাঃ × তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$= 100 \times 1 \times (49 - 12)$ cal.

$= 3700$ cal.

ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ = ইহার জল-সম × তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$= 10 \times (49 - 12)$ cal.

$= 370$ cal.

যেহেতু, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

অতএব, $25500 \times s = 3700 + 370 = 4070$

$$\therefore \quad s = \frac{4070}{25500} = {\cdot}16 \text{ (প্রায়)}$$

(2) তিন কিলোগ্রাম তামার তাপমাত্রা 0°C হইতে 10°C বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহা এক কিলোগ্রাম সীসার তাপমাত্রা 10°C হইতে 100°C বৃদ্ধি করে। তামার আপেক্ষিক তাপ ·093 হইলে সীসার কত ?

[The heat required to raise three kilograms of copper from 0°C to 10°C raises one kilogram of lead from 10°C to 100°C. If the sp. heat of copper be ·093, find that of lead.]

উ। ধরা যাউক, সীসার আঃ তাঃ = s

তিন কিলোগ্রাম তামার 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ

= তামার ভর × ইহার আঃ তাঃ × তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$= 3000 \times {\cdot}093 \times 10$ cal [3 kgm = 3000 gm.]

এক কিলোগ্রাম সীসার তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ

= সীসার ভর × ইহার আঃ তাঃ × তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$= 1000 \times s \times (100 - 10) = 1000 \times s \times 90$ cal.

যেহেতু এই দুই তাপ সমান, অতএব

$$1000 \times s \times 90 = 3000 \times {\cdot}093 \times 10$$

অথবা $$s = \frac{3000 \times {\cdot}093 \times 10}{1000 \times 90} = {\cdot}031$$

(3) একটি ক্যালরিমিটারে 16°C তাপমাত্রায় 85 gms জল আছে। উহার ভিতর 100°C তাপমাত্রায় 80 gms ওজনের একটি মার্বেল টুকরা ফেলা হইল। জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 29·8°C হইল। মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর। [ক্যালরিমিটারের জল-সম = 4·53 gms]

[A calorimeter contains 85 gms of water at 16°C. A piece of marble weighing 80 gms heated to 100°C is dropped into the water. The final temp. of water is 29·8°C. Calculate

the sp. heat of marble. The water equivalent of calorimeter = 4·53 gms.]

উ। ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= 4\cdot53\ (29\cdot8 - 16)$ cal.

জল „ „ „ $= 85\ (29\cdot8 - 16)$ cal.

উত্তপ্ত মার্বেল „ বর্জিত „ $= 80 \times s \times (100 - 29\cdot8)$ cal.

[s = মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ]

যেহেতু, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

অতএব, $4\cdot53\ (29\cdot8 - 16) + 85\ (29\cdot8 - 16) = 80 \times s\ (100 - 29\cdot8)$

বা, $(29\cdot8 - 16)\ (4\cdot53 + 85) = 80 \times s\ (100 - 29\cdot8)$

বা, $13\cdot8 \times 89\cdot53 = 80 \times s \times 70\cdot2$

$$\therefore \quad s = \frac{13\cdot8 \times 89\cdot53}{80 \times 70\cdot2}$$

$= 0\cdot22$ (প্রায়)

(4) A, B এবং C তিনটি তরল পদার্থ। 60° তাপমাত্রায় 4 gms A-তরল এবং 50°C তাপমাত্রায় 1 gm C-তরল মিশাইলে মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 55°C হয়। আবার, 60°C তাপমাত্রায় 1 gm A-তরল এবং 50°C তাপমাত্রায় 1 gm B-তরল মিশাইলে মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 55°C হয়। 60°C তাপমাত্রায় 1 gm B-তরল এবং 50°C তাপমাত্রায় 1 gm C-তরল মিশাইলে মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হইবে?

[Three liquids A, B and C are given. 4 gms of A at 60°C and 1 gm. of C at 50°C have, after mixing, a temperature of 55°C. A mixture of 1 gm of A at 60°C and 1 gm of B at 50°C shows a temperature of 55°C. What would be the temperature of a mixture of 1 gm of B at 60°C and 1 gm of C at 50°C ?]

Hints ধর, S_A, S_B, S_C তরল তিনটির আপেক্ষিক তাপ এবং 't' নির্ণেয় তাপমাত্রা। অতএব,

প্রথম ক্ষেত্রে $4 \times S_A \times 5 = 1 \times S_C \times 5$ .... (i)

দ্বিতীয় „ $1 \times S_A \times 5 = 1 \times S_B \times 5$ .... (ii)

তৃতীয় „ $1 \times S_B \times (60 - t) = 1 \times S_C \times (t - 50)$ (iii)

এখন, 't' নির্ণয় কর। $t = 52°C$

কয়েকটি কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপের তালিকা

কঠিন পদার্থ	আঃ তাঃ	তরল পদার্থ	আঃ তাঃ
পিতল	0·09	অ্যাল্‌কোহল	0·6
তামা	0·092	কেরোসিন তেল	0·45-0·5
কাচ	0·16	পারদ	0·033
লোহা	0·117	সরিষার তেল	0·5
মার্বেল	0·22	তার্পিন তেল	0·42
বরফ	0·51		

2-14. খাদ্যবস্তু ও জ্বালানীর তাপনমূল্য (Calorific value of foodstuffs and fuels) :

জ্বালানীর তাপনমূল্য বলিতে এক পাউণ্ড কঠিন বা তরল জ্বালানী অথবা এক ঘন ফুট গ্যাসীয় জ্বালানী দহন করিলে যে তাপ পাওয়া যায় তাহা বুঝায়।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এক গ্রাম কঠিন বা তরল জ্বালানী অথবা এক ঘন সেন্টিমিটার গ্যাসীয় জ্বালানী দহন করিলে যে তাপ পাওয়া যায় তাহাই ঐ জ্বালানীর তাপনমূল্য। যেমন, সাধারণ কয়লার তাপনমূল্য প্রতি গ্রামে 8000 calorie.

খাদ্যবস্তুর তাপনমূল্যও অনুরূপভাবে স্থির করা হয়। আমরা খাদ্য গ্রহণ করি দেহে শক্তি সরবরাহ করিবার জন্য। খাদ্যবস্তু দেহের অভ্যন্তরে অক্সিজেন সহযোগে দগ্ধ হয় এবং দেহে তাপ সরবরাহ করে। খাদ্যবস্তুর তাপন মূল্য নির্ধারণের জন্য 'কিলো-ক্যালরি' নামে একটি একক ব্যবহৃত হয় এবং ইহা 1000 সাধারণ ক্যালরির সমান। যে সকল খাদ্যদ্রব্য আমরা গ্রহণ করি তাহাদের তাপনমূল্য নির্ণয় করিয়া দেখা গিয়াছে যে চর্বিজাতীয় খাদ্যে 9·3, শর্করা জাতীয় খাদ্যে 4·1, প্রোটিনজাতীয় খাদ্যে 4·1 কিলো-ক্যালরি আছে। হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে কায়িক পরিশ্রম করে এরকম একজন মানুষের দৈনিক 5500 কিলো-ক্যালরি এবং কায়িক পরিশ্রম করে না এমন লোকের দৈনিক 2500 কিলো-ক্যালরি শক্তি প্রয়োজন। ইহা হইতে কোন ব্যক্তির খাদ্য তালিকায় কি কি খাদ্যবস্তু রাখা উচিত তাহা অনায়াসে স্থির করা যায়। এ প্রসঙ্গে একটি

কথা মনে রাখা উচিত যে প্রয়োজনীয় তাপনমূল্য সম্বলিত যে-কোন খাদ্য গ্রহণ করিলে দেহের গঠন পরিপূর্ণ হইবে না। যেমন, যথেষ্ট পরিমাণ শুধু শর্করাজাতীয় খাদ্য গ্রহণ করিয়া দেহের প্রয়োজনীয় তাপন মূল্য সরবরাহ করিলে দেহের গঠন সম্পূর্ণ হয় না; কারণ দেহের বৃদ্ধি, পুষ্টি এবং ক্ষয়-ক্ষতির প্রতিস্থাপনের জন্য প্রোটিন, চর্বি ইত্যাদিরও প্রয়োজন হয়।

2-15. উচ্চ তাপমাত্রা পরিমাপে ক্যালরিমিতির প্রয়োগ (Application of calorimetry in measuring high temperature):

কোন চুল্লী (furnace) বা অগ্নিশিখার তাপমাত্রার মত উচ্চ তাপমাত্রা থার্মোমিটারের সাহায্যে সরাসরি মাপিবার অনেক অসুবিধা আছে। ক্যালরিমিতির প্রয়োগে এই তাপমাত্রা সহজে এবং মোটামুটি নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায়। এই পদ্ধতিতে এমন একটি কঠিন বস্তুর সাহায্য লইতে হইবে যাহার গলনাঙ্ক (melting point) উক্ত তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশী—অর্থাৎ ঐ চুল্লী বা অগ্নিশিখায় কঠিন বস্তুটি রাখিলে উহা গলিয়া যাইবে না। তাছাড়া, পদার্থটির আপেক্ষিক তাপ জানা থাকিতে হইবে। আলোচ্য পদ্ধতিটি 2-12 অনুচ্ছেদে বিবৃত মিশ্রণ উপায়ে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় পদ্ধতির সহিত অবিকল একরকম। শুধু তফাৎ এই যে, বস্তুটিকে স্টীম-তাপনীতে রাখিয়া স্টীমের তাপমাত্রা লাভ করাইবার পরিবর্তে চুল্লী বা অগ্নিশিখায় রাখিতে হইবে। ইহাতে বস্তুটি চুল্লী বা অগ্নিশিখার তাপমাত্রা পাইবে। অতঃপর 2-12 অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসরণ করিলে ঐ স্থানে যে শেষ সমীকরণটি লিখিত আছে উহার সাহায্যে কঠিন বস্তুর প্রাথমিক তাপমাত্রা $t°C$ নির্ণয় করা যাইবে এবং উহাই হইবে চুল্লী বা অগ্নিশিখার তাপমাত্রা। নিম্নবর্ণিত উদাহরণটি এই পদ্ধতির ব্যাখ্যা স্বরূপ গণ্য করা যাইতে পারে।

উদাহরণ:

একটি চুল্লীর তাপমাত্রা নির্ণয়ের জন্য 80 gms ওজনের একটি প্লাটিনামের বল উহার ভিতর রাখা হইল। যখন বলটি চুল্লীর তাপমাত্রা লাভ করিল তখন উহাকে দ্রুত একটি জলপূর্ণ ক্যালরিমিটারে স্থানান্তরিত করা হইল। জলসহ ক্যালরিমিটারের তাপমাত্রা 15°C হইতে বৃদ্ধি পাইয়া 20°C হইল। জলের ওজন ও ক্যালরিমিটারের জল-সম উভয়ে মিলিয়া 400 gms হইলে চুল্লীর তাপমাত্রা নির্ণয় কর। প্ল্যাটিনামের আঃ তাঃ = 0·0365.

[In order to determine the temperature of a furnace, a platinum ball weighing 80 gms is introduced into it. When it has acquired the temperature of the furnace, it is transferred quickly to a calorimeter containing water at 15°C. The temperature rises to 20°C. If the weight of water, together with the water-equivalent of the calorimeter be 400 gms, calculate the temperature of the furnace. Sp. heat of platinum = 0·0365.]

উ। ধর, চুল্লীর তাপমাত্রা $= t°C$. সুতরাং প্লাটিনাম বলের প্রাথমিক তাপমাত্রা $= t°C$,

উত্তপ্ত বল কর্তৃক বর্জিত তাপ = বলের ভর × প্লাটিনামের আঃ তাঃ × তাপমাত্রা হ্রাস

$$= 80 \times \cdot 0365 \times (t - 20)$$
$$= 8 \times 365 \times (t - 20)$$
$$= 2 \cdot 92\, t - 58 \cdot 4 \text{ cal.}$$

জল ও ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ = জল-সম × তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$$= 400 \times (20 - 15)$$
$$= 400 \times 5$$
$$= 2000 \text{ cal.}$$

যেহেতু, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$$\therefore \quad 2 \cdot 92\, t - 58 \cdot 4 = 2000$$
$$\text{or,} \quad 2 \cdot 92\, t = 2058 \cdot 4$$
$$\text{or,} \quad t = \frac{2058 \cdot 4}{2 \cdot 92} = 704 \cdot 9°C. \text{ (প্রায়)}$$

2 16. জলের আপেক্ষিক তাপ উচ্চ হইবার ফল (Effects of high specific heat of water):

জলের আপেক্ষিক তাপ 1 এবং ইহা অন্যান্য কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা বেশী। নির্দিষ্ট পরিমাণ জল 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য যে তাপ গ্রহণ বা বর্জন করিবে সমভর যে-কোন কঠিন বা তরল পদার্থ ঐ তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য অনেক কম তাপ গ্রহণ বা বর্জন করিবে। জলের এই উচ্চ

আপেক্ষিক তাপের জন্য জলকে আমরা তাপশক্তির এক বিরাট ভাণ্ডার (store-house) বলিয়া মনে করিতে পারি এবং ইহা উষ্ণ অথবা শীতলীকরণের একটি বিশেষ সহায়ক বস্তু। শীতলীকরণের জন্য স্টীম-এঞ্জিন বা পেট্রল এঞ্জিনে জল ব্যবহৃত হয় এবং উষ্ণকরণের জন্য গরমজলের বোতল বা গরমজলের ব্যাগ (hot-water bag) ব্যবহার করা হয়। তাছাড়া শীতপ্রধান দেশে বাড়ীঘর গরম রাখিবার জন্য পাইপের সাহায্যে ঘরে ঘরে গরম জলের প্রবাহ পাঠানো হয়। সমুদ্রের বিরাট জলরাশিতে প্রচুর তাপশক্তি সঞ্চিত থাকে। ইহা নানারকম ভাবে সমুদ্র-তীরবর্তী স্থানসমূহের জলবায়ুকে প্রভাবান্বিত করে। সমুদ্রতীরস্থ স্থান নাতিশীতোষ্ণ-অর্থাৎ শীতকালে খুব ঠাণ্ডা হয় না আবার গ্রীষ্মে খুব গরম হয় না। তাই বলা হয় সমুদ্র উপকূলে চিরবসন্ত বিদ্যমান। জলের আপেক্ষিক তাপ উচ্চ হওয়ায়, জল অপেক্ষা স্থল দ্রুত উত্তপ্ত হয় এবং তাপ অভাবে দ্রুত ঠাণ্ডা হয়। ইহার ফলে স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ুর (land and sea breeze) উদ্ভব হয়।

2-17. লীন-তাপ (Latent heat) :

কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে বস্তুর তাপমাত্রার পরিবর্তন হয়। থার্মোমিটারের সাহায্যে এই তাপমাত্রার পরিবর্তন লক্ষ্য করিয়া আমরা বুঝিতে পারি যে বস্তুটি তাপ গ্রহণ করিতেছে। এই তাপকে সাধারণত 'বোধগম্য' (sensible) তাপ বলা হয়। কিন্তু 0°C তাপমাত্রায় একখণ্ড বরফে যদি তাপ প্রদান করা হয় তবে দেখা যাইবে যে থার্মোমিটার কোন তাপমাত্রা পরিবর্তন দেখাইতেছে না। অথচ তাপ গ্রহণ করিয়া বরফ আস্তে আস্তে গলিয়া যাইতেছে। যতক্ষণ পর্যন্ত সমস্ত বরফ টুকরাটি গলিয়া জল হইবে ততক্ষণ পর্যন্ত তাপ প্রদান সত্ত্বেও তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন হইবে না। পরে যখন বরফ সম্পূর্ণ গলিয়া জল হইবে তখন সেই জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। তাহা হইলে বরফ টুকরাটির গলন শুরু হইতে শেষ পর্যন্ত যে-তাপ প্রদান করা হইল তাহা কোথায় গেল? এই তাপ বরফ টুকরাটির গলনের সাহায্য করিল এবং ইহার কোন বাহ্যিক প্রকাশ হইল না। **এইরূপ যে-কোন পদার্থ কঠিন হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তিত হইতে কিছু তাপ গ্রহণ করে যাহা থার্মোমিটারের সাহায্যে ধরা যায় না।** এইজন্য এই তাপকে **লীন-তাপ** বলে।

আবার খানিকটা জল লইয়া যদি আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা করা যায় তবে থার্মোমিটারে তাপমাত্রার হ্রাস দেখা যাইবে। জল ঠাণ্ডা করার অর্থ এই

যে জল উহার নিজস্ব তাপ আস্তে আস্তে বর্জন করিতেছে। এইভাবে তাপবর্জন করিতে করিতে যখন জলের তাপমাত্রা 0°C পৌঁছাইবে, তখন জল জমিয়া বরফ হইতে শুরু করিবে। ঠিক তখনই থার্মোমিটারে আর কোন তাপমাত্রা পরিবর্তন দেখা যাইবে না। যতক্ষণ পর্যন্ত সমস্ত জল বরফে পরিণত হইবে ততক্ষণ তাপমাত্রা 0° সেণ্টিগ্রেডেই থাকিবে যদিও সমস্ত সময়ই জল তাপ বর্জন করিতে থাকিবে। এইরূপ যে-কোন তরল পদার্থ জমিয়া কঠিন পদার্থে পরিণত হইতে কিছু তাপ বর্জন করে যাহা থার্মোমিটারের সাহায্যে ধরা যায় না। ইহাকেও লীন-তাপ বলে।

অর্থাৎ, **পদার্থের অবস্থান্তর হইলেই উহা কিছু তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে যাহার বাহ্যিক প্রকাশ হয় না।** এই তাপকেই **লীন-তাপ** বলা হয় কারণ এই তাপ পদার্থে লীন (hidden) হইয়া থাকে।

2-18. গলনের লীন-তাপ (Latent heat of fusion) :

তাপমাত্রার কোনরূপ পরিবর্তন না করিয়া কোন পদার্থের এক একক ভরকে কঠিন হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তিত করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে উক্ত পদার্থ গলনের লীন-তাপ বলা হয়।

সি জি. এস. পদ্ধতিতে ভরের একক গ্রাম ও তাপের একক ক্যালরি। সুতরাং এই পদ্ধতিতে কোন পদার্থের এক গ্রাম ভরকে তাপমাত্রা পরিবর্তন না করিয়া কঠিন হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তিত করিতে যত ক্যালরি তাপ প্রয়োজন হয় উহাকেই উক্ত পদার্থ গলনের লীন-তাপ বলা হইবে।

যেমন, **বরফ গলনের লীন-তাপ 80 ক্যালরি।** ইহার অর্থ এই যে 0° সেণ্টিগ্রেড তাপমাত্রায় 1 গ্রাম বরফকে 0° সেণ্টিগ্রেড তাপমাত্রায় 1 গ্রাম জলে পরিণত করিতে 80 ক্যালরি তাপ প্রদান করিতে হইবে।

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে 0°C তাপমাত্রায় 1 গ্রাম বরফের সহিত 0°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম জলের পার্থক্য আছে। পার্থক্য এই যে উক্ত জলে উক্ত বরফ অপেক্ষা 80 ক্যালরি বেশী তাপ রহিয়াছে।

এই কারণে 0°C তাপমাত্রায় জল রাখিলে জল তরল অবস্থাতেই থাকিবে। উহাকে বরফে পরিণত করিতে হইলে উহা হইতে গ্রাম প্রতি 80 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশন করিতে হইবে। অর্থাৎ 0°C তাপমাত্রায় 1 গ্রাম জল যখন 0°C তাপমাত্রায় 1 গ্রাম বরফে পরিণত হইবে তখন উহা 80 ক্যালরি তাপ বর্জন করিবে।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বরফ গলনের লীন-তাপ প্রকাশ করিতে হইলে বরফের ভরকে পাউণ্ড এবং তাপকে বৃটিশ থার্মাল এককে প্রকাশ করিতে হইবে। যেহেতু 1 lb = 453·6 gms এবং 1 B. Th. U. = 252 calories.

এফ্. পি. এস্ পদ্ধতিতে বরফ গলনের লীন-তাপ হইবে $= \frac{80 \times 453 \cdot 6}{252}$

= 144 B. Th. U.

2-19. মিশ্রণ উপায়ে বরফ গলনের লীন তাপ নির্ণয় (Determination of latent heat of fusion of ice by the method of mixture) :

একটি শুষ্ক ও পরিষ্কার ক্যালরিমিটার আলোড়ক সহ ওজন কর। আলোড়কটিতে একটি পাতলা তারের জাল (wire-guage) দিয়া নিতে হইবে। ক্যালরিমিটারের ⅔ অংশ জলপূর্ণ করিয়া উহাকে পুনরায় ওজন কর। এই দুই ওজনের পার্থক্য হইতে জলের ওজন পাওয়া যাইবে। ক্যালরিমিটারে থার্মোমিটার প্রবেশ করাইয়া জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা দেখ।

অতঃপর কয়েক টুকরা বরফ ব্লটিং কাগজ দ্বারা শুষ্ক করিয়া তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারের জলে ফেলিয়া দাও এবং আলোড়কের জালদ্বারা সর্বদা জলের ভিতর রাখিয়া আস্তে আস্তে নাড়িতে থাক। বরফ গলিতে থাকিবে এবং জলের তাপমাত্রা কমিতে থাকিবে। যখন সমস্ত বরফ গলিয়া যাইবে তখন জলের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা লক্ষ্য কর।

কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিয়া যখন ক্যালরিমিটার ঘরের তাপমাত্রা লাভ করিবে তখন উহাকে পুনরায় ওজন কর। দ্বিতীয় ওজন হইতে এই ওজনের পার্থক্য যতটা বরফ লওয়া হইল উহার ওজনের সমান।

গণনা :

ধরা যাউক, বরফ গলনের লীন-তাপ = L cal.

ক্যালরিমিটারের ওজন = m_1 gms.

ক্যালরিমিটার + জলের ওজন = m_2 gms.

ক্যালরিমিটার + জল + বরফগলা জলের ওজন = m_3 gms

ক্যালরিমিটার ও জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা = $t_1°$ C

ক্যালরিমিটার, জল ও বরফগলা জলের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা = $t_2°$ gms.

ক্যালরিমিটার যে-ধাতুতে নির্মিত উহার আঃ তাঃ = s ।

১৩টা ইহাতে ন। পরে যদি

[A copper calorimeter weighs 112·5 gms. and with certain amount of water it weighs 187·5 gms. The temperature of water is 30°C. When a few pieces of ice are dropped in water, the temperature falls to 24·5°C. When the calorimeter is re-weighed it was found to be 192 gms. If the sp. heat of copper be 0·1, calculate the latent heat of fusion of ice.]

উ। ধর, বরফ গলনের লীনতাপ $= L$ cal.

জলের ওজন $= 187.5 - 112.5 = 75$ gms.

বরফের ,, $= 192 - 187.5 = 4.5$,,

শুধু বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ = বরফের ভর × লীন-তাপ

$= 4.5\ L$ cal.

বরফ গলা জলের তাপমাত্রা 0°C হইতে 24·5°C বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ

= জলের ভর × তাপমাত্রার বৃদ্ধি

$= 4.5 \times (24.5 - 0) = 4.5 \times 24.5 = 110.25$ cal.

সুতরাং মোট গৃহীত তাপ $= 4.5\ L + 110.25$ cal

ক্যালরিমিটার কর্তৃক বর্জিত তাপ

= ইহার ভর × আঃ তাঃ × তাপমাত্রার হ্রাস

$= 112.5 \times 0.1 \times (30 - 24.5)$

$= 112.5 \times 0.1 \times 5.5$

$= 61.87$ cal.

জল কর্তৃক বর্জিত তাপ = ইহার ভর × তাপমাত্রার হ্রাস

$= 75 \times (30 - 24.5)$

$= 75 \times 5.5$

$= 412.5$ cal

∴ মোট বর্জিত তাপ $= 412.5 + 61.87$

$= 474.37$ cal

যেহেতু গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

অতএব,

$4.5\ L + 110.25 = 474.37$

অথবা, $4.5\ L = 364.12$

সুতরাং $L = \frac{364.12}{4.5} = 80.9$ cal.

(2) 2·86 gms ওজনের একখণ্ড বরফ 35°C তাপমাত্রার 45 gms কোন তেলে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। যে-ক্যালরিমিটারের ভিতর তেল রাখা আছে উহার জল-সম 7·5 gms. তেলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 25°C হইল। তেলের আঃ তাঃ 0·5 হইলে বরফ-গলনের লীন-তাপ নির্ণয় কর।

[A piece of ice weighing 2·86 gms. is dropped into 45 gms of an oil at 35°C. The water-equivalent of the calorimeter containing the oil is 7·5 gms The final temperature of the oil is 25°C. If the sp. heat of the oil be 0·5, calculate the latent heat of fusion of ice.]

উ। 2·86 gms বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= 2.86 \times L$ cal.

2·86 gms বরফ গলা জল 0°C হইতে 25°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইতে প্রয়োজনীয় তাপ $= 2.86 \times (25 - 0)$

$= 2.86 \times 25 = 71.5$ cal.

ক্যালরিমিটার কর্তৃক বর্জিত তাপ = ইহার জল-সম × তাপমাত্রার হ্রাস

$= 7.5 \times (35 - 25)$

$= 7.5 \times 10$

তেল কর্তৃক বর্জিত তাপ = ইহার ভর × আঃ তাঃ × তাপমাত্রার হ্রাস

$= 45 \times 0.5 \times (35 - 25)$

$= 45 \times 0.5 \times 10$

$= 225$ cal.

যেহেতু, মোট গৃহীত তাপ = মোট বর্জিত তাপ

সেজন্য, $2.86 \times L + 71.5 = 75 + 225$

$= 300$

অথবা, $2.86 \times L = 228.5$

$\therefore \quad L = \frac{228.5}{2.86} = 79.8$ cal (প্রায়)

(3) −10°C তাপমাত্রায় 5 gms বরফ 39°C তাপমাত্রায় 20 gms জলে দেওয়া হইল। সমস্ত বরফ গলিবে কি? গলিলে মিশ্রিত জলের তাপমাত্রা কত হইবে?

[বরফের আঃ তাঃ = 0·5 এবং গলনের লীন-তাপ = 80 cal]

[5 gms. of ice at −10°C are mixed with 20 gms. of water at 39°C. Will all ice melt? If so, what is the final

temperature of the mixture? Sp. heat of ice $=0{\cdot}5$ and latent heat of fusion of ice $=80$ cal.]

উ। বরফ গলিতে গেলে প্রথমত বরফকে $-10^\circ C$ হইতে $0^\circ C$ তাপমাত্রায় আসিতে হইবে এবং অতঃপর প্রতি গ্র্যামে 80 cal. তাপ লইয়া গলিতে হইবে। এই প্রয়োজনীয় তাপ যদি উষ্ণ জল হইতে পাওয়া যায় তবে সমস্ত বরফ গলিবে।

প্রথম স্তরের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ = বরফের ভর × ইহার আঃ তাঃ × তাপমাত্রার বৃদ্ধি

$$= 5 \times 0{\cdot}5 \times [0-(-10)]$$
$$= 5 \times 0{\cdot}5 \times 10$$
$$= 25 \text{ cal.}$$

দ্বিতীয় স্তরের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= 5 \times 80 = 400$ cal.

সুতরাং মোট প্রয়োজনীয় তাপ $= 400 + 25 = 425$ cal

20 gms উষ্ণ জলের $39^\circ C$ হইতে $0^\circ C$ তাপমাত্রা হ্রাস পাইতে মোট বর্জিত তাপ $= 20 \times (39-0) = 20 \times 39 = 780$ cal.

যেহেতু বর্জিত তাপ সমস্ত বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ অপেক্ষা বেশী কাজেই বোঝা যাইতেছে যে সমস্ত বরফ গলিবে এবং যে অতিরিক্ত তাপ থাকিবে তাহা মিশ্রিত জলের তাপমাত্রা কিছু বৃদ্ধি করিবে।

ধরা যাউক, মিশ্রিত জলের শেষ তাপমাত্রা $t^\circ C$. কাজেই উষ্ণ জলের তাপমাত্রা $39^\circ C$ হইতে $t^\circ C$ হ্রাস পাইলে বর্জিত তাপ $= 20 \times (39 - t) = 780 - 20 \times t$ cal.

বরফকে $-10^\circ C$ হইতে $0^\circ C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= 25$ cal [উপরে দেখ]।

বরফকে শুধু গলাইবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= 5 \times 80 = 400$ cal.

বরফ গলা জলের $0^\circ C$ হইতে $t^\circ C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= 5 \times (t-0) = 5 \times t$ cal.

যেহেতু, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

অতএব, $780 - 20 \times t = 425 + 5 \times t$

অথবা, $25\,t = 355$

$$\therefore\ t = \frac{355}{25} = 14{\cdot}2^\circ C.$$

সারাংশ

যে পদ্ধতিতে বস্তু কর্তৃক গৃহীত বা বর্জিত তাপ পরিমাপ করা হয় তাহাকে ক্যালরিমিতি বলে।

তাপের একক :—

(1) ক্যালরি :- এক গ্রাম জলকে 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে ক্যালরি বলে।

(2) বৃটিশ থার্মাল একক :—এক পাউণ্ড জলের 1°F তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে বৃটিশ থার্মাল একক বলে।

(3) থার্ম : 100,000 পাউণ্ড জলের 1°F তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে থার্ম বলে।

1 বৃটিশ থার্মাল একক = 252 ক্যালরি।

আপেক্ষিক তাপ : –

কোন পদার্থের আঃ তাঃ
= বস্তুর একক ভরের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ
/ জলের " " " " " " " "

আপেক্ষিক তাপ একটি সংখ্যামাত্র। ইহার কোন একক নাই।

কোন বস্তুর ভর যদি 'm' হয় এবং ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয় তবে t° তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য গৃহীত তাপ $= m \times s \times t$ এবং t° তাপমাত্রা হ্রাসের জন্য বর্জিত তাপ $= m \times s \times t$.

তাপগ্রাহিতা : কোন বস্তুর 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ প্রয়োজন তাহাকে বস্তুর তাপগ্রাহিতা বলে।

বস্তুর জল-সম : —কোন বস্তুর 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ প্রয়োজন তাহা যত গ্রাম জলকে 1°C উষ্ণ করিবে তাহাকে উক্ত বস্তুর জল-সম বলে।

ক্যালরিমিতির সূত্র : —A এবং B দুইটি বস্তুর ভিতর তাপের আদান-প্রদান হইলে ক্যালরিমিতির সূত্রানুযায়ী, A কর্তৃক বর্জিত তাপ = B কর্তৃক গৃহীত তাপ।

লীন-তাপ :—পদার্থের অবস্থান্তর হইলে উহা কিছু তাপ বর্জন বা গ্রহণ করে যাহার কোন বাহ্যিক প্রকাশ হয় না। এই তাপকে লীন-তাপ বলে।

পদার্থ গলনের লীন-তাপ :—তাপমাত্রার কোনরূপ পরিবর্তন না করিয়া কোন পদার্থের একক ভরকে কঠিন অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তিত করিতে যে-তাপের প্রয়োজন উহাকে উক্ত পদার্থ গলনের লীন-তাপ বলে।

বরফ গলনের লীন-তাপ 80-ক্যালরি প্রতি গ্রামে।

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সঠিক সংজ্ঞা লেখ :—(i) আপেক্ষিক তাপ (ii) ক্যালরি (iii) বৃটিশ থার্মাল একক (iv) থার্ম (v) তাপগ্রাহিতা ও (vi) জল-সম।

[Define the following terms ; (i) Specific heat (ii) Calorie (iii) British thermal unit (iv) Therm (v) Thermal capacity (vi) Water-equivalent.]

2. আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা লেখ। আপেক্ষিক তাপ কি (i) ভরের একক এবং (ii) তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভর করে ? নির্ভর করিলে কি ভাবে করে ?

কোন কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[Define 'specific heat' of a substance In what way, if at all, does it depend on (a) the unit of mass employed and (b) the scale of temperature used.

Describe a method of determining the specific heat of a solid

[*H S (Comp) 1962*]

3 100°C তাপমাত্রায় এক পাউণ্ড লোহা ও এক পাউণ্ড সীসা বরফে রাখিলে লোহা বেশী বরফ গলায় কেন ?

[Why does a pound of iron melt more ice than a pound of lead being at a same temperature of 100°C ?]

4. সমান ভরের বিভিন্ন দ্রব্যে সমান তাপ প্রয়োগ করিলে তাপমাত্রা কি ভিন্ন হইবে ?

[Will the temperature be different if same quantity of heat is supplied to different substances of same mass ?]

5. বস্তুর তাপগ্রাহিতা ও জল-সম কাহাকে বলে ? উহাদের মধ্যে পার্থক্য কি ?

[What do you mean by thermal capacity and water-equivalent of a body ? What is the difference between the two ?] [*H. S. (Comp) 1960, 1962*]

6. সীসার আপেক্ষিক তাপ 0·03'—ইহা ব্যাখ্যা কর। তাপগ্রাহিতার সংজ্ঞা লেখ। দুইটি একই ধরনের কেটলীতে সম-পরিমাণ জল ও দুধ ভরিয়া আগুনের উপর পাশাপাশি রাখা হইল। জল অপেক্ষা দুধের তাপমাত্রা বৃদ্ধি দ্রুত দেখা গেল। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

[Explain 'Specific heat of lead is 0·03'. Define 'Thermal capacity'.

Two exactly similar kettles—one containing water and the other an equal mass of milk are placed side by side on fire. The rise of temperature of milk is found to take place at a quicker rate than in the case of water. Explain.]

[*H. S. Exam. 1960*]

7. বিস্তারিত বিবরণ সহ নিম্নলিখিত বিষয়গুলির নির্ণয় পদ্ধতি বর্ণনা কর : (ক) ক্যালরিমিটারের জল-সম, (খ) কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ, (গ) তরলের আপেক্ষিক তাপ।

[Describe in detail the methods of determining the following ; (*a*) Water-equivalent of a calorimeter. (*b*) Specific heat of a solid, (*c*) Sp. heat of a liquid] [*cf. H. S. Exam. 1960*]

8. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে গৃহীত তাপ নির্ণয় কর :—(i) 75 gms জলকে 16°C হইতে 100°C-এ উষ্ণ করিতে (ii) 36 lbs জলকে 60°F হইতে 212°F পর্যন্ত উষ্ণ করিতে (iii) 5 litres

জলকে 15°C হইতে 80°C পর্যন্ত উষ্ণ করিতে (iv) 7 gms তামাকে 15°C হইতে 200°C পর্যন্ত উষ্ণ করিতে (তামার আঃ তাঃ=0·1)।

[Calculate the heat absorbed in the following cases : (i) To raise 75 gms of water from 16°C to 100°C ; (ii) lbs of water from 60°F to 212°F ; (iii) 5 litres of water from 15°C to 80°C ; (iv) 7 gms of copper from 15°C to 200°C. (sp. ht. of Cu=0·1)]

[Ans. (i) 6300 cal ; (ii) 5472 B. Th. U. ; (iii) 325,000 cal. ; (iv) 129·5 cal.]

9. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে ধাতুগুলির আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর :—(i) 15°C তাপমাত্রার 200 gms জলে 100°C তাপমাত্রার 100 gms তামা ফেলাতে জলের তাপমাত্রা 19°C-এ বর্ধিত হইল ; (ii) 16°C তাপমাত্রার 100 gms জলে 99°C তাপমাত্রার 300 gms সীসা ফেলাতে জলের তাপমাত্রা 23°C-এ বর্ধিত হইল ; (iii) 50°F তাপমাত্রার 1·25 lb. জলে 200°F তাপমাত্রার 1 lb পারদ মিশানো হইলে জলের তাপমাত্রা 58·5°F-এ বর্ধিত হইল।

[Calculate the specific heat of metals in the following cases : (i) 100 gms of copper at 100°C when dropped into 200 gms of water at 15°C, the temperature of water became 19°C ; (ii) 300 gms of lead at 99°C when dropped into 100 gms of water at 16°C, the temperature of water became 23°C ; (iii) 1 lb of mercury at 200°F when mixed with 1·25 lbs of water at 50°F, the temperature of water became 58·5°F] [Ans. (i) ·0988 ; (ii) ·0307 ; (iii) ·0299]

10. একটি ঘরে 50 litres বায়ু আছে। উহার ওজন 1·3 gms/litre এবং প্রাথমিক তাপমাত্রা 40°C, ঐ বায়ুকে 50°C তাপমাত্রায় উষ্ণ করিতে কত তাপের প্রয়োজন হইবে? বায়ুর আপেক্ষিক তাপ=0·24

[A room contains 50 litres of air at 40°C weighing 1·3 gms/litre. How much heat is required to raise the temperature of the air to 50°C ? Sp. heat of air=0·24] [Ans. 156 cal]

11. 80°C তাপমাত্রার 50 gms জল একটি পাত্রে ফেলা হইল। ঐ পাত্রে 12°C তাপমাত্রার 40 gms জল ছিল। মিশ্রিত জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 46°C হইলে পাত্রটির জল-সম নির্ণয় কর।

[A vessel contains 40 gms of water at 12°C. Into this water are added 50 gms of water at 80°C. The final temperature of the mixture is 46°C. Calculate water-equivalent of the vessel.] [Ans. 10 gms]

12. 100 gms-এর একটি বস্তুকে 122°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিয়া 28°C তাপমাত্রার 300 gms জলে ফেলা হইল। ঐ জল 50 gms ওজনের একটি তামার ক্যালরিমিটারে রাখা ছিল। মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা হইল 30°C, তামার আপেক্ষিক তাপ 0·09 হইলে বস্তুটির উপাদানের আপেক্ষিক তাপ কত ?

[A body of mass 100 gms is heated to 122°C and is quickly immersed into 300 gms of water, at 28°C, contained in a copper calorimeter of mass 50 gms. The final common temperature attained is 30°C. If the specific heat of copper be 0·09, calculate that of the material of the body.]

[*H. S. (comp) 1962*] [Ans. ·066]

13. একটি তামার পাত্রে 30°C তাপমাত্রায় 600 gms. জল আছে। পাত্রটির জলসম 60 gms; একটি বুনসেন বার্নার যাহা প্রতি সেকেণ্ডে 100 calories তাপ উৎপন্ন করিতে পারে তাহা দ্বারা জল গরম করা হইল। জলকে স্ফুটনাঙ্কে পৌঁছাইতে হইলে কত সময় লাগিবে?

[A copper vessel of water equivalent 60 gms., contains 600 gms of water at 30°C. A Bunsen burner, adjusted to supply 100 calories per second is used to heat the vessel. Calculate the time required to raise the water to the boiling point.] [Ans. 7 min. 42 sec.]

14. 100°C তাপমাত্রার 80 gms লোহা 20°C তাপমাত্রার 200 gms জলে ফেলিলে মিশ্রণের তাপমাত্রা কত হইবে নির্ণয় কর। ঐ জল 50 gms ওজনের একটি লোহার পাত্রে ছিল। লোহার আ: তা: = 0.12

[80 gms of iron at 100°C are dropped into 200 gms of water at 20°C. The water was contained in an iron vessel weighing 60 gms. Calculate the temperature of the mixture. Sp. heat of iron = 0·12] [Ans. 28.5°C]

15. একটি 200 gms ওজনের প্লাটিনাম বল জ্বলন্ত চুল্লী হইতে 0°C তাপমাত্রার 150 গ্রাম জলে ফেলা হইল। যদি প্লাটিনাম বল কর্তৃক বর্জিত সম্পূর্ণ তাপ জল গ্রহণ করে এবং জলের তাপমাত্রা 30°C হয়, তবে চুল্লীর তাপমাত্রা নির্ণয় কর। প্লাটিনামের আপেক্ষিক তাপ = ·031.

[A ball of platinum whose mass is 200 gms is removed from a furnace and immersed in 150 gms of water at 0°C. Supposing the water to gain all heat that platinum ball loses and if the temperature of the water rises to 30°C determine the temperature of the furnace. Sp. heat of platinum ·031] [Ans. 755.8°C]

16. 200 gms সীসাকে উত্তপ্ত করিয়া 100°C তাপমাত্রা করা হইল। উহাকে একটি পাত্রে রক্ষিত 200 gms তরল পদার্থে ফেলা হইল। তরলের আপেক্ষিক তাপ 0.5। তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা 0°C হইলে চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হইবে? পাত্র কোন তাপ গ্রহণ করে না ধরিয়া লইতে পার। (সীসার আ: তা: = 0.03)

[200 gms of lead are heated upto 100°C and dropped into a vessel containing 200 gms of a liquid of sp. heat 0.5. If the initial temperature of the liquid were 0°C, find its final temperature, assuming that the vessel does not absorb any heat. Sp. heat of lead = 0.031] [*H. S. Exam. 1960*] [Ans. 5.66°C]

17. কোনটির বেশী পরিমাণ তাপ লাগিবে?

(i) 500 gms. জলকে 85°C হইতে 95°C পর্যন্ত উষ্ণ করিতে;

(ii) 4 lb. জলকে 100°F হইতে 212°F পর্যন্ত উষ্ণ করিতে।

[Which one of the two following cases requires greater quantity of heat?

(i) To heat 500 gms of water from 85°C to 95°C.

(ii) To heat 4 lbs of water from 100°F to 212°F.]

[Ans. দ্বিতীয়টিতে]

18. 0·54 আ: তা: সম্পন্ন 20°C তাপমাত্রার কিছু তরল 0·86 আ: তা: সম্পন্ন 11°C তাপমাত্রার অন্য এক তরল পদার্থের সহিত মিশানো হইল। মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 17°C হইল। তরল পদার্থ দুইটির পরিমাণের অনুপাত কত?

[A liquid of sp. heat 0·54 and temperature 29°C was mixed with another liquid of sp. heat 0·86 and temperature 11°C. The final temperature of the mixture was 17°C. In what proportion were the liquids mixed ?] [Ans. 1 : 8]

19. একটি 60 lb. ওজনের তামার বয়লারে 80 gallons জল আছে। জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা 52°F, ঐ জলকে উত্তপ্ত করিয়া স্ফুটনাঙ্কে লইতে হইলে কত আয়তনের কয়লা গ্যাস প্রয়োজন হইবে? কয়লা গ্যাসের তাপনমূল্য = 480 B. Th. U./c ft ; 1 gallon = 10 lbs এবং তামার আপেক্ষিক তাপ = 0·1

[What volume of coal gas, having a calorific value of 480 B. Th. U. per c. ft will be needed to heat 80 gallons of water, contained in a copper boiler weighing 60 lbs, from 52°F to boiling point ? 1 gallon of water weighs 10 lbs ; Specific heat of copper = 0·1] [Ans. 102 c ft.]

20. পদার্থ গলনের লীন-তাপ কাহাকে বলে? বরফ গলনের লীন-তাপ 80 calories বলিতে কি বুঝায়?

[What is latent heat of fusion of a substance ? What is meant by 'latent heat of fusion of ice is 80 calories' ?] [*H. S Exam 1961*]

21. বরফ গলনের লীন তাপ নির্ণয় করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[Describe a method of determining the latent heat of fusion of ice.]

22. কোনটি বেশী ঠাণ্ডা সৃষ্টি করিবে—0°C তাপমাত্রার 100 গ্রাম বরফ, না 0°C তাপমাত্রার 100 গ্রাম জল?

[Which one produces more cold—100 gms of ice at 0°C or 100 gms of water at 0°C ?]

23. সমপরিমাণ গরম জল ও বরফ মিশান হইল। বরফ গলিয়া জল হইবার পর মিশ্রিত জলের তাপমাত্রা 0°C রহিল। গরম জলের তাপমাত্রা কত ছিল?

[Equal quantities of hot water and ice were mixed. When the ice melted the temperature of the mixture was found to be 0°C. What was the temperature of the hot water ?] [Ans. 80°C]

24. 40°C তাপমাত্রার 200 gms জলকে 10°C তাপমাত্রায় হ্রাস করিতে কত বরফ মিশাইতে হইবে?

[How much ice is to be mixed with 200 gms of water to bring down its temperature from 40°C to 10°C ?] [Ans. 66·6 gms.]

25. 2 gms বরফের সহিত 45°C তাপমাত্রার 4 gms জল মিশাইলে ফল কি হইবে নির্ণয় কর।

[What will be the result of mixing 2 gms of ice with 4 gms of water at 45°C ?] [Ans. All ice will melt and final temp. will be 3·3°C]

26. 20°C তাপমাত্রার 100 gms টিনকে গলাইতে কত তাপের প্রয়োজন হইবে? টিনের গলনাঙ্ক = 232°C ; টিন গলনের লীন-তাপ = 14 cal. টিনের আঃ তাঃ = ·05.

[How much heat is required to melt 100 gms of tin at 20°C ? Melting point of tin = 232°C ; latent heat of fusion of tin = 14 cal. Sp. heat of tin = ·05.]
[Ans. 2460 cal.]

27. 40°C তাপমাত্রার 100 gms জলে 10 gms বরফ ফেলা হইল। জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হইবে ?

[10 gms of ice are dropped into 100 gms of water at 40°C. What will be the final temperature of water ?] [Ans. 29·09°C]

28. 250 gms ওজনের এক টুকরা লোহাকে 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিয়া একটি বড় বরফখণ্ডের গর্তের ভিতর ফেলা হইল। ইহার ফলে 34.5 gms বরফ গলিয়া গেল। লোহার আপেক্ষিক তাপ কত ?

[A piece of iron weighing 250 gms is heated upto 100°C and is dropped into the cavity of a block of ice. As a result 34·5 gms of ice melted. Calculate the sp. heat of iron.] [Ans. 0·11]

29. 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত 8 lbs তামার সহিত 0°C তাপমাত্রার 2 lbs বরফ মিশাইলে কি হইবে ? [তামার আঃ তাঃ = 0·1, বরফ গলনের লীন-তাপ = 80 cal/gm.]

[What is the result of mixing 8 lbs of copper at 100°C with 2 lbs of ice at 0°C ? Sp. heat of copper = 0·1, latent heat of fusion of ice = 80 cal/gm]
[*H. S. Exam. 1961*] [Ans. 1 lb বরফ গলিবে]

30. 'বোধগম্য' তাপ এবং 'লীন-তাপের' মধ্যে পার্থক্য কি ? ধর, −8°C তাপমাত্রায় রক্ষিত বরফে তাপ প্রদান করিয়া তাপমাত্রা 50°C এ বৃদ্ধি করা হইল। ফল কি হইবে তাহা সাধারণভাবে বর্ণনা কর।

বরফের পরিমাণ 10 gms হইলে উপরোক্ত ক্ষেত্রে মোট কত তাপ প্রদান করা হইল হিসাব কর (বরফের আঃ তাঃ = 0·5 ; বরফের লীন তাপ = 80 cal/gm.)।

[Distinguish between 'sensible' heat 'latent' heat. State, in general terms the effect of application of heat to ice, say at −8°C until the temperature of 50°C is reached.

Calculate the amount of heat supplied in the above case, if the mass of ice be 10 gms (Sp. heat of ice = 0·5, latent heat of fusion of ice = 80 cal/gm).
[*H. S. (comp.) 1961*] [Ans 1840 cal]

[Objective Type Questions]

নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির পাশে পাশে কতকগুলি উত্তর দেওয়া হইল। উত্তরগুলির মধ্যে যেটি সর্বাপেক্ষা সঙ্গত বলিয়া মনে হইবে তাহা চিহ্নিত কর এবং সংক্ষেপে কারণ দেখাও :-

(i) সমভর দুইটি বিভিন্ন পদার্থে সমান তাপমাত্রা সৃষ্টি করিতে বিভিন্ন পরিমাণ তাপ দিতে হয় কেন ?

উঃ। পদার্থের ঘনত্বের জন্য, পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের জন্য, পদার্থের আপেক্ষিক তাপের জন্য।

(ii) কোন বস্তুর তাপগ্রাহিতা কোন্ কোন্ জিনিসের উপর নির্ভর করে ?

উঃ। বস্তুর ভর, উহার উপাদান, উহার ঘনত্ব, তাপমাত্রার স্কেল।

(iii) 0°C তাপমাত্রার বরফে তাপ প্রদান করিলে বরফের তাপমাত্রার কি রকম পরিবর্তন লক্ষিত হইবে ?

উঃ। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে, তাপমাত্রা হ্রাস পাইবে, তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন হইবে না।

(iv) কিছু জলকে অনেকখানি বরফের দ্বারা আবৃত করিয়া রাখিলে জল জমিয়া যাইবে কি ?

উঃ। জমিবে, জমিবে না।

(v) 'ক্যালরি' কোন রাশির একক ?

উঃ। তাপের, তাপমাত্রার, জল-সমের, লীন-তাপের।

(vi) 100,000 পাউণ্ড জলের তাপমাত্রা 1°F বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে কি বলা হয় ?

উঃ। আপেক্ষিক তাপ, থার্ম, বৃটিশ থার্মাল একক।

(vii) আপেক্ষিক তাপের সহিত বস্তুর ভর গুণ করিলে কোন রাশি পাওয়া যায় ?

উঃ। তাপগ্রাহিতা, জল-সম, লীন-তাপ, গড় ক্যালরি।

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

কঠিন পদার্থের প্রসারণ

[Expansion of Solids]

3-1. তাপ প্রয়োগে কঠিন পদার্থের প্রসারণ (Expansion of solid when heated) :

কঠিন পদার্থে তাপ প্রয়োগ করিলে সাধারণত উহার প্রসারণ হয়। তামা, লোহা, পিতল ইত্যাদি ধাতব পদার্থে এই প্রসারণ খুব উল্লেখযোগ্য।

কঠিন পদার্থের এই প্রসারণ তিন রকমের হইতে পারে :

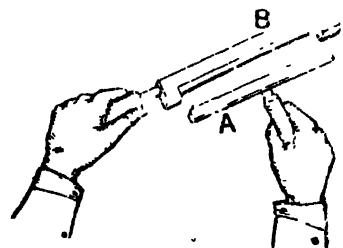
(1) দৈর্ঘ্যে প্রসারণ,

(2) ক্ষেত্রফলে প্রসারণ,

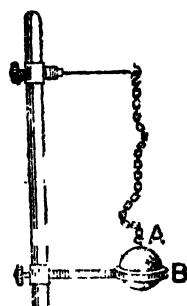
(3) আয়তনে প্রসারণ।

নিম্নবর্ণিত কয়েকটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা কঠিন পদার্থের বিভিন্ন প্রসারণ দেখানো যাইতে পারে।

(1) দণ্ড ও গজ (Bar and Gauge) পরীক্ষা :

A একটি কাঠের হাতলসহ লোহার দণ্ড। B একটি ধাতু নির্মিত খাঁজকাটা প্লেট বা গজ। A দণ্ডটি ঠাণ্ডা অবস্থায় B-এর ফাঁকের মধ্যে ঠিক ঠিক আঁটিয়া যায় (3ক নং চিত্র)। এখন A দণ্ডকে তাপ প্রদান করিয়া উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে যে উহা B-এর ফাঁকের মধ্যে আর বসিতেছে না। আবার ঠাণ্ডা করিলে ঠিক ঠিক ফাঁকের মধ্যে বসিবে। সুতরাং ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে তাপ প্রদানের ফলে A-দণ্ডটির দৈর্ঘ্যের প্রসারণ হইয়াছে।

দৈর্ঘ্য প্রসারণের পরীক্ষা
চিত্র 3ক

(2) বল ও আংটা পরীক্ষা :

A-একটি ফাঁপা পিতলের গোলাকার বল। ইহা ঠাণ্ডা অবস্থায় B-আংটার ভিতর দিয়া ঠিক গলিয়া যাইতে পারে। এখন বলটিকে তাপ প্রদান করিয়া উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে যে ইহা আর আংটার ভিতর দিয়া গলিয়া যাইতেছে না, খানিকটা ঢুকিয়া আটকাইয়া যাইতেছে (3খ নং চিত্র)। আবার বলটিকে পূর্বের ঠাণ্ডা অবস্থায় আনিলে ইহা আংটার ভিতর দিয়া গলিয়া যাইবে। সুতরাং এই পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় যে তাপ পাইয়া বস্তুটির আয়তনের প্রসারণ হইয়াছে।

আয়তনের প্রসারণের ফলে বলটির ক্ষেত্র-ফলের প্রসারণ হয়। অতএব ইহা বলা যাইতে পারে যে তাপ প্রয়োগে কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রপ্রসারণ ঘটে।

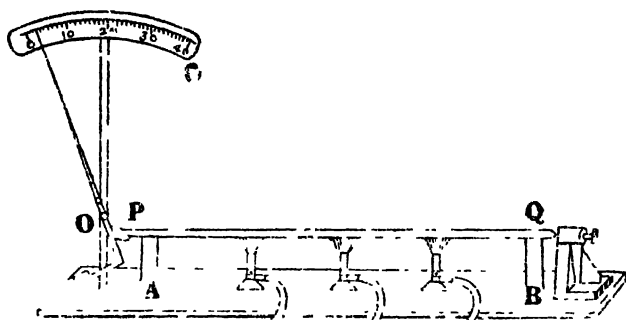
আয়তন প্রসারণের পরীক্ষা
চিত্র 3খ

3-2. বিভিন্ন দ্রব্যের প্রসারণ বিভিন্ন :

বিভিন্ন দ্রব্যে সমপরিমাণ তাপ প্রয়োগ করিলে বিভিন্ন প্রসারণ ঘটে। নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষাদ্বারা ইহা সুন্দরভাবে বোঝা যাইবে।

(1) ফার্গুসনের পরীক্ষা :

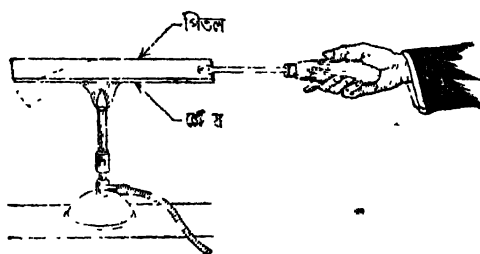
PQ একটি ধাতব দণ্ড A ও B স্তম্ভদ্বয়ের উপর অনুভূমিক অবস্থায় রাখা আছে (3গ নং চিত্র)। দণ্ডের Q প্রান্ত একটি স্ক্রুর সঙ্গে ঠেকানো এবং সেইদিকে প্রসারণের কোন জায়গা নাই। P প্রান্ত একটি সূচকের সঙ্গে লাগানো। সূচকটি একটি খাড়া দণ্ডের সঙ্গে O বিন্দুতে আটকানো এবং সূচালো প্রান্ত একটি স্কেল বাহিয়া চলাচল করিতে পারে। Q প্রান্তের স্ক্রু সামনে বা পিছনে সরাইলে P-প্রান্ত সূচককে চাপ দিবে এবং তাহার ফলে সূচকটি স্কেল বাহিয়া চলাচল করিবে। প্রথমে Q প্রান্তের স্ক্রুটি এমনভাবে রাখিতে হইবে যে P-প্রান্তের চাপে সূচক স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলিয়া থাকে। তারপর বার্নার দ্বারা PQ-দণ্ডকে গরম করিলে দেখা যাইবে যে

সূচক স্কেল বাহিয়া আস্তে আস্তে ডানদিকে সরিয়া যাইতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে PQ-দণ্ড উত্তপ্ত হওয়ায় P-প্রান্ত দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হইতেছে এবং ইহার ফলে সূচকের ঐরূপ গতি হইতেছে।

বিভিন্ন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ বিভিন্ন

চিত্র 3গ

সমান দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন ধাতুর দণ্ড লইয়া উহাদের যদি সমতাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া উপরোক্তভাবে পরীক্ষা করা যায় তবে দেখা যাইবে যে সূচক স্কেলের বিভিন্ন দাগ পার হইতেছে। অর্থাৎ, ইহা প্রমাণ করে যে বিভিন্ন ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ বিভিন্ন।

(2) **দুই ধাতুর পাতের বক্রতা পরীক্ষা** (Buckling of a bi-metallic strip) :

পিতল ও লোহার দুইটি পাত একসঙ্গে রিভেট (rivet) করিয়া

পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ লোহা অপেক্ষা বেশী

চিত্র 3ঘ

আটকানো। ঠাণ্ডা অবস্থায় উহারা সোজা থাকিবে। কিন্তু উহাকে গরম করিলে 3ঘ নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ বাঁকিয়া যাইবে। পিতল

ও লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ আলাদা বলিয়াই ঐরূপ বক্রতার সৃষ্টি হয়, কারণ দৈর্ঘ্য-প্রসারণ সমান হইলে পাতটি সোজাই থাকিত।

তাছাড়া বক্রতা লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে উপর পিঠে পিতল আছে। অর্থাৎ, পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ লোহা অপেক্ষা বেশী।

3-3. দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of linear expansion of solids) :

প্রতি একক দৈর্ঘ্যে প্রতি 1° ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য পদার্থের যে দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয় উহাকে ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

[দ্রষ্টব্য : প্রকৃতপক্ষে দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের যথার্থ সংজ্ঞা বলিতে গেলে বলিতে হয় যে প্রতি একক দৈর্ঘ্যে 0°C হইতে 1°C তাপমাত্রাবৃদ্ধির জন্য পদার্থের যে দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয় তাহাকেই ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে। কিন্তু প্রাথমিক দৈর্ঘ্য 0°C তাপমাত্রায় না রাখিয়া অন্য যে কোন তাপমাত্রায় রাখিয়া পরে 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে যে ফল পাওয়া যায় তাহা প্রকৃত দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক হইতে খুব বেশী তফাৎ হয় না। তাছাড়া সর্বদা প্রাথমিক দৈর্ঘ্য 0°C তাপমাত্রায় রাখিয়া পরিমাপ করা অসুবিধাজনক। এই সকল কারণে দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞায় প্রাথমিক তাপমাত্রা হিসাবে 0°C এর উল্লেখের প্রয়োজন করে না।]

ধরা যাউক t_1°C তাপমাত্রায় কোন দণ্ডের দৈর্ঘ্য l_1 এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া t_2°C করিলে দৈর্ঘ্য হইল l_2.

কাজেই, (t_2-t_1)°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্যপ্রসারণ $= l_2 - l_1$

সুতরাং ,, ,, ,, ,, প্রতি একক দৈর্ঘ্যে

দৈর্ঘ্যপ্রসারণ $= \dfrac{l_2 - l_1}{l_1}$

অথবা 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রতি একক দৈর্ঘ্যে দৈর্ঘ্যপ্রসারণ

$$= \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$$

দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ককে α (আলফা) বলা হয়, তবে উহার সংজ্ঞানুযায়ী

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} = \frac{\text{দৈর্ঘ্যের প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $l_2 - l_1 = \alpha \cdot l_1 (t_2 - t_1)$

$$\therefore \quad l_2 = l_1\{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$$

দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক দুইটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত হওয়ায় দৈর্ঘ্যের এককের উপর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ভর করে না—কিন্তু তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভর করে।

যেমন, লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000012 বলিতে এই বুঝায় যে **1** cm. বা 1 ft. বা 1 yard লম্বা লোহার দণ্ড 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে যথাক্রমে ·000012 cm. বা ·000012 ft. বা ·000012 yard দৈর্ঘ্যে বাড়িবে। কিন্তু যদি তাপমাত্রা ফারেনহাইট এককে বলা হয় তবে ইহার মান আলাদা হইবে। যেহেতু $1°F = \frac{5}{9}°C$, সেজন্য লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক এই ক্ষেত্রে $·000012 \times \frac{5}{9} = ·0000067$ হইবে।

কয়েকটি পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের তালিকা

পদার্থ	প্রতি ডিগ্রী সেন্টিঃ	প্রতি ডিগ্রী ফাঃ
পিতল	·000019	·000011
লোহা	·000012	·0000067
ইস্পাত	·000011	·0000061
তামা	·000017	·0000097
জার্মান সিলভার	·000018	·00001
ইনভার (নিকেল-ইস্পাত সংকর ধাতু)	·0000009	·0000005

উদাহরণ ঃ

(1) একটি তামার দণ্ড 0°C তাপমাত্রায় 2 metres দীর্ঘ। উহাকে 200°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে দৈর্ঘ্য 200·68 cms হয়। তামার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কত?

[A copper bar is 2 metres long at 0°C. It its temperature is raised to 200°C, its length becomes 200·68 cms. What is the co-efficient of linear expansion of copper?]

উঃ। এস্থলে $l_1 = 2$ metres $= 200$ cms.

$l_2 = 200·68$ cms.

$t_1 = 0°C$

$t_2 = 200°C$

সুতরাং,

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} = \frac{200{\cdot}68 - 200}{200(200 - 0)} = \frac{{\cdot}68}{200 \times 200}$$

$$= \frac{68}{4} \times 10^{-6}$$

$$= 17 \times 10^{-6}$$

(2) একটি ধাতুদণ্ড 68°F তাপমাত্রায় 8 ft. দীর্ঘ। উহার তাপমাত্রা 110°F করিলে কতখানি দৈর্ঘ্যপ্রসারণ হইবে? (ধাতুর দৈর্ঘ্যপ্রসারণ গুণাঙ্ক ·0000094 প্রতি ডিগ্রী ফাঃ।]

[A metal bar is 8 ft. long at 68°F. How much expansion in length would take place at 110°F? α for the metal = ·0000094 per°F.]

উ। আমরা জানি,

$$\alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রার বৃদ্ধি}}$$

$$\text{অতএব, } {\cdot}0000094 = \frac{\text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ}}{8(110 - 68)}$$

$$\text{অথবা, দৈর্ঘ্য প্রসারণ} = {\cdot}0000094 \times 8 \times 42$$

$$= {\cdot}0031584 \text{ ft.}$$

(3) 59°F হইতে 100°C তাপমাত্রায় গরম করিলে একটি দস্তার দণ্ডের দৈর্ঘ্য 5 mm. প্রসারিত হইল। দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য কত ছিল? দস্তার α = 0·000029 per °C.

[What must be the length of a rod of zinc at 59°F, if its length is to increase by 5 mm., when the temperature is raised to 100°C; α for zinc = 0·000029 per °C.]

[*H. S. Exam.*, 1960]

উ। প্রথমে 59°F তাপমাত্রাকে সেন্টিগ্রেড স্কেলে রূপান্তরিত করিতে হইবে। আমরা জানি,

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

এস্থলে F = 59, কাজেই $\frac{C}{5} = \frac{59 - 32}{9} = \frac{27}{9} = 3 \quad \therefore \quad C = 15°$

এখন আমরা জানি,

দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি = প্রাথমিক দৈর্ঘ্য × প্রসারণ গুণাঙ্ক × তাপমাত্রা ভেদ,

কাজেই, $0·5 = l \times ·000029 \times (100 - 15)$

[l = প্রাথমিক দৈর্ঘ্য]

অথবা, $0·5 = l \times ·000029 \times 85$

$$\therefore \quad l = \frac{0·5}{·000029 \times 85}$$

$$= \frac{0·5 \times 10^6}{29 \times 85} = \frac{5 \times 10^5}{29 \times 85} = 202·9 \text{ cm}$$

সুতরাং প্রাথমিক দৈর্ঘ্য = 202·9 cm.

[**দ্রষ্টব্য :** উপরোক্ত উদাহরণগুলির বিভিন্ন রাশির একক লক্ষ্য কর।]

3-4. ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of surface expansion) :

প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রতি 1° ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য পদার্থের যে-ক্ষেত্র প্রসারণ হয় উহাকে ঐ পদার্থের ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়।

ধরা যাউক, t_1°C তাপমাত্রায় কোন ধাতব প্লেটের ক্ষেত্রফল S_1 এবং বর্ধিত তাপমাত্রা t_2°C-এ ক্ষেত্রফল S_2.

সুতরাং $(t_2 - t_1)$°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ক্ষেত্র প্রসারণ $= S_2 - S_1$

অথবা " " " " একক ক্ষেত্রফলের ক্ষেত্র প্রসারণ

$$= \frac{S_2 - S_1}{S_1}$$

সুতরাং 1°C " " " " $= \dfrac{S_2 - S_1}{S_1(t_2 - t_1)}$

যদি ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক β (বিটা) ধরা যায় তবে ইহার সংজ্ঞানুযায়ী

$$\beta = \frac{S_2 - S_1}{S_1(t_2 - t_1)} = \frac{\text{ক্ষেত্র প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্রফল} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $S_2 - S_1 = \beta S_1(t_2 - t_1)$

$$\therefore \quad S_2 = S_1\{1 + \beta(t_2 - t_1)\}$$

[**দ্রষ্টব্য :** দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের ন্যায় এস্থলেও প্রাথমিক ক্ষেত্রফল 0°C তাপমাত্রায় পরিমাপ করা উচিত। কিন্তু প্রাথমিক তাপমাত্রা 0°C না লইয়া অন্য কিছু লইলে এমন কিছু ত্রুটি হইবে না।]

ক্ষেত্র প্রসারণ [illegible] দুইটি ক্ষেত্রফলের অনুপাত হওয়ায় উহা ক্ষেত্রফলের একককের উপর নির্ভর করে না—কিন্তু তাপমাত্রার একককের উপর নির্ভর করে। যেমন লোহার ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000024 বলিতে এই বুঝায় যে 1 sq. cm. বা 1 sq. yd. বা 1 sq. ft. লোহার প্লেট 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে যথাক্রমে ·000024 sq. cm. বা ·000024 sq. yd. বা ·000024 sq. ft. বৃদ্ধি পাইবে। কিন্তু ফারেনহাইট স্কেল ব্যবহার করিলে ইহার মান অন্য রকম হইবে। ফারেনহাইটে তাপমাত্রা প্রকাশ করিলে ইহার মান হইবে $\frac{5}{9} \times {}^{\cdot}000024 = {}^{\cdot}0000134$.

3-5. আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of volume expansion):

প্রতি একক আয়তনে প্রতি 1° ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য পদার্থের যে আয়তন প্রসারণ হয় উহাকে ঐ পদার্থের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়। এখানেও তাপমাত্রা সাধারণত সেন্টিগ্রেডে প্রকাশ করা হয়।

ধরা যাউক, t_1°C তাপমাত্রায় কোন একটি গোলকের (sphere) আয়তন V_1 এবং বর্ধিত তাপমাত্রা t_2°C-এ আয়তন V_2.

অতএব, $(t_2 - t_1)$°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে আয়তন প্রসারণ $= V_2 - V_1$

∴ " " " " একক আয়তনে আয়তন প্রসারণ

$$= \frac{V_2 - V_1}{V_1}$$

∴ 1°C " " " " $= \dfrac{V_2 - V_1}{V_1(t_2 - t_1)}$

যদি আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক γ (গামা) ধরা যায়, তবে ইহার সংজ্ঞানুযায়ী $\gamma = \dfrac{V_2 - V_1}{V_1(t_2 - t_1)} = \dfrac{\text{আয়তন প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$

অথবা, $V_2 - V_1 = \gamma V_1(t_2 - t_1)$

$$V_2 = V_1\{1 + \gamma(t_2 - t_1)\}$$

পূর্বের মত আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক আয়তনের একককের উপর নির্ভর করিবে না—কিন্তু তাপমাত্রার একককের উপর নির্ভর করিবে। যেমন, লোহার আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000036 বলিতে ইহাই বুঝায় যে 1 c.c বা 1 c.ft বা 1 c. yd. লোহার গোলক 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে যথাক্রমে ·000036 c.c. বা ·000036 c. ft. বা ·000036 c. yd. বৃদ্ধি পাইবে। ফারেনহাইট তাপমাত্রায় ইহার মান $\frac{5}{9} \times {}^{\cdot}000036 = {}^{\cdot}00002$.

3-6. প্রসারণের তিন গুণাঙ্কের সম্পর্ক (Relation between the three co-efficients of expansion) :

কোন কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্র ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কগুলি সম্পর্কযুক্ত। নিম্নলিখিত উপায়ে এই সম্পর্ক নির্ণয় করা যায়।

ধরা যাউক একটি প্লেটের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ উভয়ই 1 cm , সুতরাং উহার ক্ষেত্রফল 1 sq.cm.

এখন যদি ইহার তাপমাত্রা 1°C ডিগ্রী বৃদ্ধি করা যায়, তবে দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ উভয়ই বাড়িয়া $(1+\alpha)$ হইবে। [যদি ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক α ধরা হয়]

অতএব, এখন ইহার ক্ষেত্রফল $=(1+\alpha)^2$

$=1+2\alpha+\alpha^2$

$=1+2\alpha$ [α খুব ছোট বলিয়া α^2কে অগ্রাহ্য করা যায়]

প্লেটটির পূর্বের ক্ষেত্রফল $=1$ sq. cm.

∴ ক্ষেত্র প্রসারণ $=2\alpha$

কিন্তু যেহেতু প্রাথমিক ক্ষেত্রফল এক একক ও তাপমাত্রা বৃদ্ধি 1°C. সুতরাং উক্ত ক্ষেত্র প্রসারণই ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্কের সমান। অর্থাৎ,

$\beta=2\alpha=2\times$ দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক।

আবার যদি 1 cm. দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতাসম্পন্ন ঘনক লওয়া যায় তাহা হইলে ইহার আয়তন $=1$ c.c.

ইহার তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধি করিলে, ইহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা প্রত্যেকটিই বাড়িয়া $(1+\alpha)$ হইবে।

সুতরাং ঘনকটির বর্তমান আয়তন $=(1+\alpha)^3=1+3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3$

$=1+3\alpha$ (α^2 এবং α^3 উপেক্ষণীয়)

ঘনকটির প্রাথমিক আয়তন $=1$ c.c.

সুতরাং, আয়তন প্রসারণ $=3\alpha$

কিন্তু, যেহেতু প্রাথমিক আয়তন এক একক ও তাপমাত্রা বৃদ্ধি 1°C লওয়া হইয়াছে সুতরাং উক্ত আয়তন প্রসারণই আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের সমান।

অর্থাৎ, $\gamma=3\alpha$

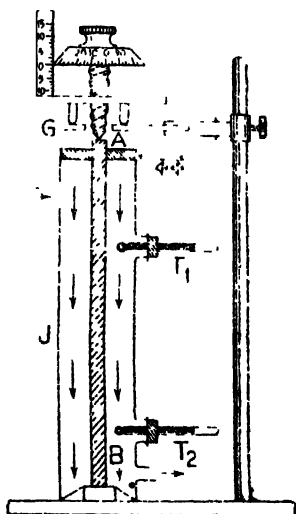
$=3\times$ দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক

সুতরাং $\alpha=\beta/2=\gamma/3$

3-7. কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of co-efficient of linear expansion of solid) :

পরীক্ষাগারে পুলিঞ্জারের যন্ত্র দ্বারা অতি সহজে কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। 3ঙ নং চিত্রে ঐ যন্ত্রের ছবি দেখান হইল।

বিবরণ : J একটি ধাতব চোঙ। ইহার ভিতর যে পদার্থের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে উহার একটি দণ্ড AB ঢুকানো আছে। দণ্ডটির নিম্নপ্রান্ত B একটি কাচ বা মার্বেল প্লেটের উপর রক্ষিত। অর্থাৎ, দণ্ডটির নিম্নপ্রান্তে প্রসারণের কোন সুবিধা নাই। উপরের প্রান্ত একটি কর্কের ফুটা দিয়া একটু বাহির করা এবং ঐ দিকে প্রসারণের জায়গা আছে। কর্কটি দ্বারা চোঙের উপরের মুখ বন্ধ। চোঙের গায়ে উপরে ও নীচে দুইটি ছিদ্র আছে। উপরের ছিদ্র দিয়া স্টীম চোঙে প্রবেশ করিতে পারে এবং নীচের ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া যাইতে পারে। তা'ছাড়া চোঙে আর দুইটি ছিদ্র দিয়া T_1 এবং T_2 দুইটি থার্মোমিটার ঢুকানো যায়। G একটি কাচের প্লেট যাহার মাঝখানে একটি ছিদ্র আছে। প্লেটের উপর একটি স্ফেরোমিটার এমনভাবে বসানো যায় যে ইহার মাঝখানের পা প্লেটের ছিদ্র দিয়া দণ্ডের উপর প্রান্ত স্পর্শ করিতে পারে।

পুলিঞ্জারের যন্ত্র
চিত্র 3ঙ

কার্যপ্রণালী :

প্রথমে AB দণ্ডটির দৈর্ঘ্য মাপিয়া লও (l)। সাধারণত এক মিটার লম্বা একটি দণ্ড লওয়া হয়। থার্মোমিটার দ্বারা প্রাথমিক তাপমাত্রা দেখিয়া রাখ (t_1)। পরে দণ্ডটি J-চোঙের ভিতর বসাইয়া স্ফেরোমিটারের মাঝখানের পা দণ্ডের A প্রান্ত স্পর্শ করাও। স্ফেরোমিটারের পাঠ লও। অতঃপর স্ফেরোমিটার স্ক্রু ঘুরাইয়া মাঝখানের পা বেশ খানিকটা তুলিয়া রাখ যাহাতে AB দণ্ড উপরের দিকে প্রসারিত হইবার জায়গা পায়। এখন চোঙের ভিতর স্টীম পাঠাও। ক্রমশ T_1 এবং T_2 থার্মোমিটারের পারদ ঊর্ধ্বে উঠিতে থাকিবে। যখন পারদ স্থির

হইয়া দাঁড়াইবে তখন তাপমাত্রা (t_2) পাঠ কর। যদি দুই থার্মোমিটার সামান্য আলাদা তাপমাত্রা নির্দেশ করে তবে উহাদের গড় লইতে হইবে। এখন স্ফেরোমিটারের মাঝখানের পা আবার A প্রান্তের সঙ্গে স্পর্শ করাইয়া পাঠ লও। স্ফেরোমিটারের এই পাঠ হইতে আগের পাঠ বাদ দিলে দণ্ডটির কতখানি দৈর্ঘ্য প্রসারণ হইল তাহা পাওয়া যাইবে। ধরা যাউক ইহা x.

আমরা জানি,

$$\alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্যের প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{x}{l(t_2 - t_1)}$$

উপরোক্ত সমীকরণের ডানদিকের সব কিছু রাশি জানা থাকায় α সহজেই নির্ণয় করা যাইবে।

3-8. কঠিন পদার্থের প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ :

ইঞ্জিনিয়ারীং ও অন্যান্য কারিগরি বিদ্যায় কঠিন পদার্থের প্রসারণের বহু ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখিতে পাওয়া যায়। আমাদের দৈনন্দিন জীবনেও কঠিন পদার্থের প্রসারণ ও সংকোচনকে আমরা নানারূপভাবে কাজে লাগাই। কোন কোন ক্ষেত্রে ইহা আমাদের কাজের সুবিধা করে, আবার কোন কোন ক্ষেত্রে অসুবিধার সৃষ্টি করে। নীচে ইহার সুবিধা ও অসুবিধার কথা আলোচনা করা হইল।

অসুবিধার কারণ :

(ক) রেলের লাইন পাতিবার সময় দুই লাইনের জোড়ের মুখে কিছু ফাঁক রাখিতে হয়। কারণ সূর্যকিরণে বা চাকার ঘর্ষণে লোহা উত্তপ্ত হইলে দৈর্ঘ্যের প্রসারণ হয় এবং তাহার জন্য ঐ জায়গা রাখা হয়। মুখে মুখে লাগাইয়া রাখিলে প্রসারণ-জনিত বলের দরুন লাইন বাঁকিয়া যাইবার সম্ভাবনা থাকে।

রেল লাইনের জোড়ের মুখে ফাঁক
চিত্র 3চ

লাইন দুইটির দু' পাশে একটি করিয়া লোহার পাত চারিটি বোল্টের সাহায্যে সংযুক্ত রাখা হয়। এই পাতকে ফিসপ্লেট বলে (3চ নং চিত্রে)। বোল্টের গর্তগুলি ডিম্বাকৃতি। ফলে, দৈর্ঘ্যের প্রসারণ ও সংকোচন হইলে রেল লাইন দৈর্ঘ্য বরাবর বাড়িতে বা কমিতে পারে।

কিন্তু ট্রাম লাইন পাতিবার সময় ঐরূপ ফাঁক রাখা হয় না। বিদ্যুৎপ্রবাহ চালু রাখার জন্য লাইনগুলি মুখে মুখে জোড়া লাগাইয়া রাখা হয় কিন্তু লাইনগুলি

মাটির ভিতরে গাঁথা থাকে এবং গ্রানাইট পাথর ও কংক্রীট দ্বারা বেষ্টিত থাকে বলিয়া তাপমাত্রার পার্থক্যের প্রভাব খুব কম হয় এবং সেই কারণে বাঁকিতে পারে না। রেল লাইন সম্পূর্ণ উন্মুক্ত থাকে বলিয়া প্রভাব খুব বেশী হয়।

উদাহরণ ঃ

কিছু ফাঁক রাখিয়া টুক্‌রা টুক্‌রা ইস্পাতের লাইন দ্বারা একটি রেলপথ তৈয়ারী। প্রত্যেক টুকরার দৈর্ঘ্য 66 ft.। 10°C হইতে 67·3°C তাপমাত্রার ব্যবধানে লাইনগুলির মধ্যে কতটুকু ফাঁক রাখিতে হইবে?

[ইস্পাতের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $=11\times10^{-6}$ প্রতি °C]

[Railway lines are laid with gaps to allow for expansion. If each piece of rail is 66 ft long, how much gap is to be left for a temperature difference of 10°C to 67·3°C ? α for steel $=11\times10^{-6}$ per C]

উ। এস্থলে নির্ণয় করিতে হইবে যে $(67{\cdot}3-10)=57{\cdot}3$°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য 66 ft. দীর্ঘ লাইনের কতটুকু প্রসারণ হয়। সুতরাং ঐটুকু ফাঁক রাখিলেই চলিবে।

আমরা জানি,

$$\alpha=\frac{\text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}\times\text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

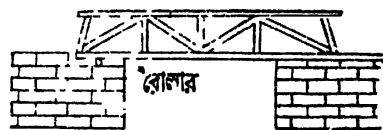
অথবা, দৈর্ঘ্য প্রসারণ = প্রাথমিক দৈর্ঘ্য × তাপমাত্রা বৃদ্ধি × α

$$=66\times57{\cdot}3\times11\times10^{-6}\text{ ft.}$$

$$={\cdot}041\text{ ft.}$$

$$={\cdot}49\text{ inch.}$$

অর্থাৎ, দুই লাইনের ভিতর প্রায় ·5 inch ফাঁক রাখিতে হইবে।

(খ) লোহার সেতু তৈয়ারী করিবার সময় লোহার প্রসারণের কথা চিন্তা করিয়া তাহার জন্য-জায়গা রাখিতে হয়। এইজন্য সেতুর উভয় প্রান্ত কংক্রীট ও ইটের গাঁথুনী দ্বারা দৃঢ়ভাবে তৈয়ারী করা হয় না। সেতুর এক প্রান্ত একটি চাকার (roller) উপর রাখা হয় (3ছ নং চিত্র) যাহাতে উত্তপ্ত হইয়া লোহা ঐদিকে প্রসারিত হইতে পারে।

সেতুর এক প্রান্ত রোলারের উপর থাকে
চিত্র 3ছ

উদাহরণ :

যদি মনে করা যায় যে গ্রীষ্মে সর্বাধিক তাপমাত্রা 45°C এবং শীতে সর্বনিম্ন তাপমাত্রা −15°C তবে 1700 ft. দীর্ঘ একটি ইস্পাতের সেতুর প্রসারণের জন্য কতটুকু জায়গা রাখিতে হইবে ?

[ইস্পাতের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক = ·000012]

[Assuming that the highest summer temperature is 45°C and the lowest winter temperature is −15°C, what allowance must be made for expansion in one of the 1700 ft. steel span of a bridge ? α for steel = ·000012]

উ। আমরা জানি, দৈর্ঘ্য প্রসারণ = প্রাথমিক দৈর্ঘ্য × তাপমাত্রাবৃদ্ধি × গুণাঙ্ক

$$= 1700 \times [45 - (-15)] \times \cdot 000012$$
$$= 1700 \times 60 \times \cdot 000012$$
$$= 17 \times 6 \times \cdot 012$$
$$= 1{\cdot}22 \text{ ft.}$$

সুতরাং, প্রসারণের সুবিধার জন্য 1·22 ft. জায়গা রাখিতে হইবে।

(গ) যদি মোটা কাচের গ্লাসে গরম জল ঢালা যায় তবে গ্লাসটি ফাটিয়া যায়। এইরূপ হওয়ার কারণ এই যে কাচ খুব ভাল তাপ পরিবাহী নহে। ফলে গ্লাসের অভ্যন্তর উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হয় কিন্তু বাহিরের অংশ সমপরিমাণ তাপ না পাওয়ায় খুব কম প্রসারিত হয়। একই পাত্রের বাহির ও অভ্যন্তরের এই অসম প্রসারণের ফলে যে বলের উদ্ভব হয় তাহার জন্য পাত্রটি ফাটিয়া যায়। এই অসুবিধা মনে রাখিয়া কাচের পাত্র বা চিমনি প্রভৃতি জিনিস তৈয়ারী করার সময় বিশেষ যত্ন লইতে হয়।

(ঘ) চুল্লী (Furnace) তৈয়ারী করিবার সময় লোহার দণ্ড ইটের গাঁথুনীর ভিতর ঢুকাইয়া দিতে হয়। চুল্লীর প্রচণ্ড তাপে দণ্ডের যথেষ্ট প্রসারণ হয়। সুতরাং দণ্ডের একপ্রান্ত আল্‌গা রাখিয়া প্রসারণের জায়গা করিয়া দিতে হয়। নতুবা প্রসারণের ফলে যে বলের উদ্ভব হয় তাহা ইটের গাঁথুনী ভাঙ্গিয়া ফেলিতে পারে।

(ঙ) দূরত্ব মাপিবার জন্য কোন ধাতুনির্মিত স্কেল ব্যবহার করিলে প্রসারণজনিত ত্রুটির প্রতি লক্ষ্য রাখিতে হইবে। যে তাপমাত্রায় স্কেল তৈয়ারী করা হয় শুধু সেই তাপমাত্রাতেই উহা ত্রুটিহীন। তাপ বৃদ্ধি বা হ্রাস পাইলে স্কেলের প্রত্যেক দাগের প্রসারণ বা সংকোচন হয়। ফলে ঐ স্কেল দ্বারা দূরত্ব নির্ভুল-

ভাবে মাপা চলে না। কিন্তু ঐ ধাতুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক জানা থাকিলে প্রয়োজনীয় সংশোধন করিয়া লওয়া চলে।

উদাহরণ :

একটি ইস্পাতের মিটার স্কেল 0 C তাপমাত্রায় ত্রুটিহীন। ঐ স্কেল দ্বারা 15°C তাপমাত্রায় দৈর্ঘ্য মাপিলে কতটুকু ত্রুটি আসিবে?

[ইস্পাতের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক = 000012]

[A metre scale made of steel is correct at 0°C. If it is used to measure distance at 15 C, what will be the error? α for steel = ·000012]

উ। 15°C তাপমাত্রায় স্কেলটির দৈর্ঘ্য প্রসারণ ঘটিবে। সুতরাং তখন স্কেলটির দৈর্ঘ্য এক মিটারের বেশী হইবে। আমরা জানি,

দৈর্ঘ্য প্রসারণ = প্রাথমিক দৈর্ঘ্য × তাপমাত্রা বৃদ্ধি × গুণাঙ্ক

$= 100 \times 15 \times 000012$

$= 018$ cm.

[প্রাথমিক দৈর্ঘ্য = 1 metre = 100 cm.]

সুতরাং 15° সেন্টিগ্রেডে ঐ স্কেল দ্বারা কোন দৈর্ঘ্য মাপিলে যাহা 1 metre অথবা 100 cm বলিয়া স্কেল দেখাইবে তাহা প্রকৃতপক্ষে 100·018 cm.

(চ) কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ ও সকল ধাতুর প্রসারণ সমান নয়। তাই কোন ধাতব তারকে কাচের দণ্ডে সীল করিয়া আটকানো যায় না। কারণ দৈর্ঘ্য-প্রসারণের অসমতার ফলে, ধাতব তারকে কাচের গায়ে বিদ্ধ করিতে গেলে ফাঁক থাকিয়া যাইবে—বায়ুনিরুদ্ধ হইবে না। কিন্তু প্লাটিনামের দৈর্ঘ্য প্রসারণ কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণের প্রায় সমান বলিয়া প্লাটিনামের তারের বেলাতে এই অসুবিধা নাই। এই কারণে কাচের দণ্ডে সহজেই প্লাটিনামের তার সীল করিয়া আটকানো যায়।

সুবিধার কারণ :

(ক) রিভেট করিয়া দুইটি ধাতব প্লেট দৃঢ়ভাবে আটকানোর পদ্ধতির কথা তোমাদের অনেকের জানা আছে। যে দুইটি প্লেট জুড়িতে হইবে উহাদের পর পর রাখিয়া একটি ফুটা করা হয় এবং একটি রিভেট বা খিল গরম করিয়া ঐ ফুটার ভিতর ঢুকানো হয়। পরে হাতুড়ি দিয়া পিটাইয়া রিভেটের মাথা প্লেটের সঙ্গে মিশাইয়া দেওয়া হয়। রিভেট যখন ঠাণ্ডা হয় তখন উহার দৈর্ঘ্যের সংকোচন হয় এবং উহার ফলে প্লেট দুইটিকে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া রাখে।

(খ) লৌহদণ্ডের প্রসারণ ও সংকোচনকে প্রয়োগ করিয়া যে সমস্ত বাড়ীর দেওয়াল বাহিরের দিকে বাঁকিয়া গিয়াছে তাহাদের সোজা করা হয়। দেওয়ালের মধ্য দিয়া কতকগুলি লৌহদণ্ড ঢুকাইয়া পাত ও স্ক্রুর সাহায্যে শক্ত করিয়া আটকাইয়া দেওয়া হয়। অতঃপর দণ্ডগুলিকে উষ্ণ করিয়া স্ক্রু আরো জোরে আঁটিয়া দেওয়া হয়। দণ্ডগুলি পরে যখন ঠাণ্ডা হয় তখন দৈর্ঘ্যে সংকুচিত হয় এবং উহার দরুন যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হয় তাহা দেওয়ালকে টানিয়া সোজা করে।

(গ) গাড়ীর চাকায় লোহার বেড় পরাইবার সময় লোহার প্রসারণ ও সংকোচনকে প্রয়োগ করা হয়। বেড়ের ব্যাস চাকার ব্যাস অপেক্ষা কিছু ছোট থাকে। বেড়কে উষ্ণ করিলে প্রসারিত হইয়া চাকার গায়ে ঠিক ঠিক আঁটিয়া যায়। পরে জল ঢালিয়া বেড়কে ঠাণ্ডা করিলে উহার সংকোচন হয় এবং বেড় চাকার গায়ে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া যায়।

উদাহরণ :

15°C তাপমাত্রায় একটি লোহার বেড়ের ব্যাস 99.8 cm, কত তাপমাত্রায় 100 cm ব্যাসযুক্ত একটি চাকায় ঐ বেড় পরানো যাইবে?

[গুণাঙ্ক -1.2×10^{-5}]

[The diameter of an iron tyre is 99.8 cm. At what temperature will it fit on a wheel whose diameter is 100 cm? ($\alpha=1.2\times10^{-5}$)]

উ। বেড়ের পরিধির দৈর্ঘ্য $=(\pi\times99.8)$ cm

চাকার পরিধির দৈর্ঘ্য $=(\pi\times100)$ cm

সুতরাং চাকায় পরাইতে গেলে বেড়ের প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্য প্রসারণ

$$=\pi\{100-99.8\}$$
$$=\pi\times0.2\text{ cm.}$$

আমরা জানি,

দৈর্ঘ্য প্রসারণ = প্রাথমিক দৈর্ঘ্য × তাপমাত্রা বৃদ্ধি × গুণাঙ্ক

অথবা, $\pi\times0.2=99.8\pi\times(t-15)\times1.2\times10^{-5}$

$$\therefore\ t-15=\frac{0.2}{99.8\times1.2\times10^{-5}}$$
$$=167\ (\text{প্রায়})$$
$$\therefore\ t=182^{\circ}\text{C}$$

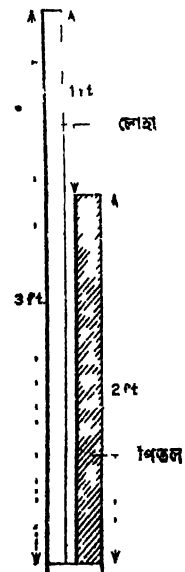
অর্থাৎ, 182°C তাপমাত্রায় বেড়কে উত্তপ্ত করিলে ঐ চাকায় পরানো যাইবে।

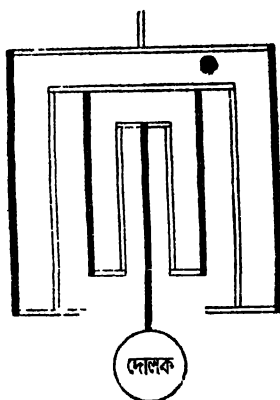
(গ) যদি শিশিতে কাচের ছিপি খুব জোরে আঁটিয়া যায় তবে শিশির মুখ একটু গরম করিলেই ছিপি খুলিয়া আসে। কারণ শিশির মুখ উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হয় কিন্তু কাচ ভাল তাপ পরিবহণ করে না বলিয়া ছিপি উত্তপ্ত হইতে পারে না এবং উহার প্রসারণও হয় না। সুতরাং ছিপি আল্‌গা হইয়া যায়।

3-9. প্রতিবিহিত দোলক (Compensated Pendulum) :

দেওয়াল ঘড়িতে ঘণ্টার কাঁটা বা মিনিটের কাঁটা দোলকের (Pendulum) দোলনের (oscillation) জন্য চলে এবং উহার ফলে ঘড়ি সময় নির্দেশ করে। এই দোলক একটি ধাতু দণ্ডের সাহায্যে ঝুলানো। শীত বা গ্রীষ্মে তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য দোলকের ধাতুদণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারিত বা সঙ্কুচিত হয়। দৈর্ঘ্যের উপর দোলকের একবার পূর্ণ দোলনের সময় নির্ভর করে। সুতরাং, দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হইলে দোলকের দোলনকালেরও (period) পরিবর্তন হইবে। গ্রীষ্মকালে তাপমাত্রার বৃদ্ধির সঙ্গে দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি হয়। এই কারণে দোলকের দোলনের সময়ও বৃদ্ধি পায় ও ঘড়ি ধীরে (slow) চলে। আবার শীতকালে তাপমাত্রা কমিয়া যাওয়াতে দৈর্ঘ্যের সংকোচন হয় এবং তাহার দরুন দোলকের দোলনের সময় হ্রাস পায় ও ঘড়ি দ্রুত (fast) চলে। যাহাতে ঘড়ির সময়ের এইরূপ পরিবর্তন না হয় অর্থাৎ তাপমাত্রার পরিবর্তনে দোলকের কার্যকর (effective) দৈর্ঘ্যের কোন প্রসারণ বা সংকোচন না হয় তাহার প্রতিবিধান করা উচিত। এইরূপ ব্যবস্থাযুক্ত দোলককে প্রতিবিহিত দোলক বলে।

চিত্র 3জ (1)

দৈর্ঘ্যপ্রসারণ গুণাঙ্ক তালিকা লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক লোহা অপেক্ষা প্রায় $1\frac{1}{2}$ গুণ। সুতরাং 1 ft. দীর্ঘ পিতলের দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ $1\frac{1}{2}$ ft. দীর্ঘ লোহার দণ্ডের প্রসারণের সমান হইবে। অথবা 2 ft. দীর্ঘ পিতলের দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ 3 ft. দীর্ঘ লোহার দণ্ডের প্রসারণের সমান হইবে। অতএব, একটি 3 ft. লোহার দণ্ড এবং একটি 2 ft. পিতলের দণ্ড পাশাপাশি রাখিয়া উহাদের এক প্রান্ত রিভেট করিয়া সংযুক্ত করিলে অপর প্রান্তদ্বয়ের অন্তর্বর্তী দূরত্ব সর্বদা 1 ft. থাকিবে—তাপমাত্রা পরিবর্তন যাহাই হউক না কেন [চিত্র 3জ (1)]

ইহাই প্রতিবিহিত দোলকের মূলনীতি ; কারণ প্রতিবিহিত দোলকে বিলম্ব বিন্দু (point of suspension) হইতে পিণ্ডের (bob) ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্ব সর্বদা স্থির রাখিতে হইবে। এই দূরত্বকে দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য বলে।

Harrison-এর দোলক
চিত্র 3জ

Harrison-এর Grid-iron দোলক : ইহা একটি প্রতিবিহিত দোলক। 3জ নং চিত্রে এই দোলকের ছবি দেখানো হইল। এই ব্যবস্থায় বিভিন্ন ধাতুর কয়েকটি দণ্ডের সাহায্যে দোলক এমনভাবে ঝুলানো থাকে যে কয়েকটি দণ্ড নীচের দিকে প্রসারিত হইয়া দোলককে নামাইবার চেষ্টা করে, আবার অন্য কয়েকটি দণ্ড উপরের দিকে প্রসারিত হইয়া দোলককে সমানভাবে উপরের দিকে উঠাইবার চেষ্টা করে। ফলে দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য ঠিক থাকে। 3জ নং চিত্রে কালো লাইনের দণ্ডগুলি লোহার তৈয়ারী এবং তলার দিকে প্রসারিত হইতে পারে, আর সরু লাইনের দণ্ডগুলি তামার তৈয়ারী এবং উপরের দিকে প্রসারিত হইতে পারে।

ধরা যাউক, AB-দণ্ডটি লোহার ও CD দণ্ডটি তামার (3ঝ নং চিত্র)। ইহারা এমনভাবে যুক্ত যে AB-দণ্ড তলার দিকে ও CD দণ্ড উপর দিকে সমানভাবে প্রসারিত হইয়া দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য OO′কে অপরিবর্তিত রাখে। যদি AB দণ্ডের দৈর্ঘ্য 0°C তাপমাত্রায় l_1 হয় এবং ইহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক α_1 হয় তবে t°C তাপমাত্রা পরিবর্তনে ইহার নিম্নদিকে দৈর্ঘ্য প্রসারণ $= l_1 \alpha_1 t$.

চিত্র 3ঝ

তেমনি CD দণ্ডের দৈর্ঘ্য 0°C তাপমাত্রায় যদি l_2 হয় এবং ইহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক α_2 হয় তবে উক্ত তাপমাত্রা পরিবর্তনে ইহার উপরের দিকে দৈর্ঘ্য প্রসারণ $= l_2 \alpha_2 t$.

যেহেতু, দুই প্রসারণ সমান, অতএব

$l_1\alpha_1 t = l_2\alpha_2 t$

অথবা, $\dfrac{l_1}{l_2} = \dfrac{\alpha_2}{\alpha_1}$

অর্থাৎ, $\dfrac{\text{লোহার দণ্ডের দৈর্ঘ্য}}{\text{তামার ,, ,,}} = \dfrac{\text{তামার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক}}{\text{লোহার ,, ,,}}$

এখন হ্যারিসনের দোলক লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে তাহাতে মোট পাঁচটি লোহার দণ্ড এবং চারিটি তামার দণ্ড আছে। মাঝখানের লোহার দণ্ড হইতে পিণ্ডটি ঝুলানো এবং উহার দুই পাশে দুইটি করিয়া লোহার ও তামার দণ্ড আছে। এক্ষেত্রে কার্যকর দৈর্ঘ্য প্রসারণের কথা চিন্তা করিলে সহজেই বোঝা যায় যে তিনটি লোহার দণ্ডের মোট প্রসারণ দুইটি তামার দণ্ডের মোট প্রসারণের সমান হইবে। যদি প্রত্যেকটি লোহার দণ্ডের গড় দৈর্ঘ্য l_1 এবং তামার দণ্ডের গড় দৈর্ঘ্য l_2 ধরা হয় তবে, আমরা লিখিতে পারি যে,

$$3l_1\alpha_1 t = 2l_2\alpha_2 t$$

$$\therefore \frac{l_1}{l_2} = \frac{2\alpha_2}{3\alpha_1}$$

Invar নামক একপ্রকার সংকর (নিকেল ও ইস্পাতের) ধাতু আবিষ্কারের পর দোলক প্রতিবিহিত করিবার সমস্যা অনেক সহজ হইয়াছে। Invar-এর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ·0000009—অর্থাৎ অতি সামান্য। সুতরাং Invar নির্মিত দোলকের দৈর্ঘ্য তাপমাত্রা পরিবর্তনে প্রায় অপরিবর্তিত থাকিবে।

উদাহরণ ঃ

(1) পিতল ও ইস্পাতের দুইটি দণ্ড পাশাপাশি রাখিয়া উহাদের একপ্রান্ত দৃঢ়ভাবে যুক্ত করা হইল। অন্য প্রান্ত দুইটি প্রসারণক্ষম। ইস্পাতদণ্ডটি 2 metres লম্বা। যে-কোন তাপমাত্রাভেদে দণ্ড দুইটির মুক্তপ্রান্তদ্বয়ের অন্তবর্তী দূরত্ব সর্বদা স্থির থাকিলে পিতল দণ্ডের দৈর্ঘ্য কত হইবে? পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 2\times10^{-5}$ per °C এবং ইস্পাতের $= 1{\cdot}2\times10^{-5}$ per °C.

[Two bars of steel and brass, standing side by side, have one end rigidly fixed to each other. The other ends are free to expand. The steel bar is 2 metres long. What should be the length of the brass bar so that the distance between the free ends of the bars remains the same at all temperatures? α for brass $= 2\times10^{-5}$ per °C and α for steel $= 1{\cdot}2\times10^{-5}$ per °C]

উ। সকল তাপমাত্রাভেদে দণ্ড দুইটির মুক্ত প্রান্তদ্বয়ের অন্তর্বর্তী দূরত্ব সর্বদা স্থির থাকিতে গেলে দণ্ড দুইটির প্রসারণ সর্বদা সমান হইতে হইবে। মনে কর, কোন এক সময় তাপমাত্রা ভেদ হইল t°C

এক্ষেত্রে, ইস্পাতদণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ $= 2 \times 100 \times 1{\cdot}2 \times 10^{-5} \times t$ cm.

এবং পিতল দণ্ডের ,, ,, $= l \times 2 \times 10^{-5} \times t$ cm.

[l = পিতল দণ্ডের দৈর্ঘ্য]

অতএব, $2l \times 10^{-5} \times t = 2 \times 100 \times 1{\cdot}2 \times 10^{-5} \times t$

অথবা, $2l = 200 \times 1{\cdot}2$

$= 240$

$\therefore \quad l = 120$ cm.

(2) একটি প্রতিবিহিত দোলক তিনটি লোহার ও দুইটি পিতলের দণ্ড দ্বারা তৈয়ারী। প্রত্যেক লোহার দণ্ডের গড় দৈর্ঘ্য 100 cm. ও ইহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000012. পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000019 হইলে, পিতলের দণ্ডের গড় দৈর্ঘ্য কত ?

[A compensated pendulum has 3 iron rods and 2 brass rods. Each iron rod is on average, 100 cm. long and its co-efficient of expansion is ·000012. If the co-efficient of expansion of brass be ·000019, what is the average length of each brass rod ?]

উ। এখানে দুইটি লোহার দণ্ডের মোট প্রসারণ = একটি পিতলের দণ্ডের মোট প্রসারণ।

এখন t°C তাপমাত্রাভেদে দুইটি লৌহদণ্ডের মোট প্রসারণ

$= 2 \times 100 \times {\cdot}000012 \times t$

এবং t°C তাপমাত্রাভেদে একটি পিতল দণ্ডের মোট প্রসারণ

$= l \times {\cdot}000019 \times t$

[l = প্রত্যেক পিতলদণ্ডের গড় দৈর্ঘ্য]

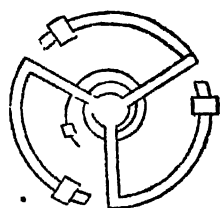
সুতরাং, $2 \times 100 \times {\cdot}000012 \times t = l \times {\cdot}000019 \times t$

অথবা,

$$l = \frac{2 \times 100 \times {\cdot}000012}{{\cdot}000019} = 126{\cdot}3 \text{ cm}$$

3-10. ঘড়ির প্রতিবিহিত চক্র (Compensated balance wheel of a watch) :

সাধারণত পকেট ঘড়ি বা হাত ঘড়িতে সময় নির্দেশের জন্য একটি চক্র থাকে। এই চক্রের ব্যাসার্ধের উপর ঘড়ির সময় নির্দেশ নির্ভর করে। ব্যাসার্ধ বাড়িয়া গেলে ঘড়ি আস্তে চলে ; আবার ব্যাসার্ধ কমিয়া গেলে ঘড়ি দ্রুত চলে। সুতরাং এই ধরনের চক্রে ব্যাসার্ধ ঠিক রাখিতে গেলে যে উপায় অবলম্বন করা হয় উহাকে প্রতিবিহিত চক্র বলে।

এই প্রতিবিহিত চক্রে (3এ নং চিত্র) পূর্ণ চক্রটি তিন ভাগে ভাগ করা হয়। প্রত্যেকটি ভাগ দুইটি ভিন্ন ধাতব পাত দ্বারা তৈযারী। ইহার বাহিরের দিকে যে পাত তাহা সাধারণত বেশী প্রসারশীল। ঘড়িতে বাহিরের পাত পিতল ও ভিতরের পাত মরিচাবিহীন (stainless) ইস্পাতের। প্রত্যেকটি অংশের একপ্রান্ত একটি দণ্ডের সহিত যুক্ত এবং অপর প্রান্তে একটি ভারী স্ক্রু আঁটা থাকে। তাপ পাইয়া প্রত্যেকটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয় এবং চক্রের ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পাইতে চায় এবং স্ক্রুকে কেন্দ্র হইতে দূরে সরাইতে চায়। ইস্পাত পিতল অপেক্ষা কম প্রসারণশীল বলিয়া চক্রের গোলাকার অংশ আরো বেশী বাঁকিয়া যায়। ফলে স্ক্রু কেন্দ্রের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে। এই প্রসারণগুলি সমান করার জন্য স্ক্রুগুলি চক্র-কেন্দ্র হইতে সমান দূরে থাকে এবং সেই কারণে চক্রের দোলনকাল অপরিবর্তিত থাকে।

চিত্র 3এ

3-11. ফাঁপা পাত্রের আয়তন প্রসারণ (Volume expansion of a hollow vessel) :

একটি ফাঁপা পাত্র একটি সম-আয়তন ও সম-উপাদানে তৈয়ারী নিরেট (solid) পাত্রের মত সমান আয়তনে প্রসারিত হইবে। একটি আয়তাকার ধাতব ব্লক এবং সমান দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতাবিশিষ্ট এবং ঐ ধাতুর পাতের তৈয়ারী একটি আয়তাকার ফাঁপা বাক্স লইয়া যদি সমভাবে উত্তপ্ত করা যায় তবে উভয়েরই দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতার সমান প্রসারণ হইবে। সুতরাং উভয়ের আয়তনও সমান থাকিবে। কাজেই, নিরেট পাত্রের বেলাতে ধাতুর আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক এবং পূর্বোক্ত প্রসারণ-সংক্রান্ত সমীকরণ যে-ভাবে ব্যবহার করা হইয়াছে ফাঁপা পাত্রের বেলাতেও ঠিক একই রকমভাবে করা যাইবে।

উদাহরণ :

(1) একটি পিতলের স্কেলের সাহায্যে 10°C তাপমাত্রায় একটি দস্তার দণ্ডের দৈর্ঘ্য মাপিয়া 1·0001 metres পাওয়া গেল। স্কেলটি 0°C তাপমাত্রায় ত্রুটিহীন হইলে 10°C তাপমাত্রায় এবং 0°C তাপমাত্রায় দণ্ডটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত হইবে? দস্তার দৈর্ঘ্য প্রসা[illegible] গুণাঙ্ক 29×10^{-6} এবং পিতলের 19×10^{-6}.

[A zinc rod is measured [illegible] means of a brass scale correct at 0°C, and is found [illegible] ·0001 metres long at 10°C. What is the real length of the rod at 0°C and 10°C? Co-efficient of linear expansion o[illegible]c is 29×10^{-6} and of brass is 19×10^{-6}.

উ। স্কেলটি 0°C তাপমাত্রায় ত্রুটিহীন [illegible]য়, 10°C তাপমাত্রায় প্রত্যেকটি সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যে কিছু বাড়িবে।

সুতরাং 10°C তাপমাত্রায় প্রত্যেকটি সেন্টিমিটার স্কেলের প্রকৃত দৈর্ঘ্য

$$=1\,(1+\cdot000019\times10)\text{ cm}=[illegible]+\cdot00019)\text{ cm.}$$

কিন্তু স্কেলে উহার দাগ 1 cm. থাকিবে। অর্থাৎ স্কেলে যাহা 1 cm. দেখাইতেছে 10°C তাপমাত্রায় তাহা প্রকৃতপক্ষে (1+·00019[illegible]

সুতরাং 10°C তাপমাত্রা স্কেল যে দৈর্ঘ্য 1·0001 metres দেখাইতেছে তাহার প্রকৃত দৈর্ঘ্য হইবে $=1\cdot0001\,(1+\cdot00019)=1\cdot00029$ m[illegible]

অর্থাৎ 10°C তাপমাত্রায় দস্তার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য $=1\cdot00029$ m[illegible]

এখন, ধরা যাউক 0°C তাপমাত্রায় দস্তার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য [illegible]

সুতরাং দস্তার দৈর্ঘ্য প্রসারণ বিবেচনা করিলে লেখা যাইতে পারে,

$$1\cdot00029=l_0(1+\cdot000029\times10)$$

$$=l_0(1+\cdot00029)$$

$$\therefore\quad l_0=\frac{1\cdot00029}{1\cdot00029}=1\text{ metre.}$$

(2) 35°F তাপমাত্রায় একটি ইস্পাতের রেল লাইন পাতা হইল। প্রত্যেকটি রেলের দৈর্ঘ্য 39 ft হইলে, প্রত্যেক পর পর দুইটি রেলের ভিতর কতটুকু ফাঁক রাখিতে হইবে যদি উহারা 120°F তাপমাত্রায় ঠিক স্পর্শ করে? ইস্পাতের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $=12\times10^{-6}$ per °C.

[If steel railroad rails are laid w[illegible] the temperature is 35°F, how much gap must be left between each 39 ft. rail section and the next, if the rails should just touch when the temperature rises to 120°F ? Co-efficient of linear expansion of steel is 12×10^{-6} per °C]

উ। আমরা জানি, $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{[illegible]}$

এই সম্পর্ক হইতে, $35°F=\frac{5}{3}$ [illegible] এবং $120°F=\frac{440}{9}$ °C.

ধরি, দুইটি পরপর রেললাইনের [illegible] ভতর যে ফাঁক রাখিতে হইবে তাহা $=x$ ft. ইহা সহজেই বোঝা যায় যে $\frac{5}{[illegible]}$ হইতে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া $\frac{440}{9}$ °C হইলে প্রত্যেক রেলের দৈর্ঘ্য x ft. [illegible]দ্ধি পাইবে

আমরা জানি, দৈর্ঘ্য[illegible] = প্রাথমিক দৈর্ঘ্য × গুণাঙ্ক × তাপমাত্রা বৃদ্ধি

অথবা, $x=39\times12\times10^{-6}\times\left(\frac{440}{9}-\frac{5}{3}\right)$

$=39\times12\times10^{-}$ [illegible] $\frac{425}{9}$ ft.

$=·0221$ ft.

$=·2652$ inch.

(3) [illegible] তাপমাত্রায় রক্ষিত একটি পিতলের ব্লককে $(10''\times4''\times1'')$ 700°C [illegible]মাত্রায় উত্তপ্ত করা হইল। ব্লকটির আয়তন বৃদ্ধি নির্ণয় কর। পিত[illegible]র্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $=19\times10^{-6}$ per °C.

[illegible] rectangular block of brass $(10''\times4''\times1'')$ at 0° C is h[illegible] to 700°C. Calculate the increase in volume. Co-efficient of linear expansion of brass $=19\times10^{-6}$ per °C.]

উ। 0°C তাপমাত্রায় ব্লকটির আয়তন V_o ধরিলে,

$V_o=10\times4\times1$

$=40$ cubic inches.

পিতলের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক γ = 3 × দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক

$=3\times19\times10^{-6}$

$=57\times10^{-6}$

এখন, আয়তন বৃদ্ধি = প্রাথমিক আয়তন × গুণাঙ্ক × তাপমাত্রাবৃদ্ধি

$=40\times57\times10^{-6}\times(700-0)$

$=40\times57\times10^{-6}\times700$

$=1·596$ cubic inches.

সারাংশ

তাপ প্রয়োগে সকল কঠিন পদার্থের প্রসারণ হয়। এই প্রসারণ তিন প্রকারের হইতে পারে। যথা :

দৈর্ঘ্য প্রসারণ, ক্ষেত্র প্রসারণ ও আয়তন প্রসারণ।

বিভিন্ন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ বিভিন্ন।

দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক :

$$\alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{l_2 - l_1}{l_1 \times (t_2 - t_1)}$$

ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$\beta = \frac{\text{ক্ষেত্র প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্র} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{S_2 - S_1}{S_1(t_2 - t_1)}$$

আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক :

$$\gamma = \frac{\text{আয়তন প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{V_2 - V_1}{V_1(t_2 - t_1)}$$

পুলিঙ্গারের যন্ত্রদ্বারা পরীক্ষাগারে যে-কোন কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

প্রতিবিহিত দোলক :—

তাপমাত্রার পরিবর্তনে দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্যের কোন পরিবর্তন যাহাতে না হইতে পারে সেইরূপ ব্যবস্থাযুক্ত দোলককে প্রতিবিহিত দোলক বলে। নির্ভুল সময় নির্দেশের জন্য ভাল ঘড়িতে উক্ত দোলক বা চক্র ব্যবহৃত হয়। শীতে বা গ্রীষ্মে উক্ত দোলক আপনা হইতেই কার্যকর দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত রাখে। ইহার ফলে দোলক নির্ভুল সময় নির্দেশ করিতে পারে। হ্যারিসনের Grid-iron দোলক একটি প্রতিবিহিত দোলক।

প্রশ্নাবলী

1. কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কাহাকে বলে? ইহা কি দৈর্ঘ্যের একক বা তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভর করে?

[What is co-efficient of linear expansion of a soild ? Does it depend upon the unit of length or upon the unit of temperature ?]

2. কঠিন পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ। ইহা কি দৈর্ঘ্যের একক বা তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভরশীল? একই কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের ভিতর সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[Define the term 'co-efficient of linear expansion of a solid.' How does it depend on the scales of length and temperature used? Work out the relation between the co-efficients of linear and cubical expansion of the same solid.] [*H. S. Exam.* *1960, 1962*]

3. দৈর্ঘ্য সেন্টিমিটারে মাপিয়া পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে 0·000018 হইলে ঐ গুণাঙ্কের মান প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইট কত হইবে যদি দৈর্ঘ্য গজে মাপা হয়?

[If the co-efficient of linear expansion of brass be 0·000018 for a centigrade degree, the length being measured in centimetres, what will be its value for a Fahrenheit degree, if the length be measured in yard?]

[*H S Exam.*, *1962*] Ans. 0·00001]

4. বিভিন্ন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ বিভিন্ন তাহা কয়েকটি পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

[Explain by means of suitable experiments, that different substances expand differently in length.]

5 নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির যথাযথ উত্তর লেখ :—

(ক) বোতলের গলায় গরম জল ঢালিলে আঁট ছিপি আলগা হয় কেন?

(খ) রেললাইন পাতার সময় প্রত্যেক দুই টুকরা লাইনের মধ্যে খানিকটা ফাঁক থাকে কেন?

(গ) লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক 000012 বলিতে কি বোঝ?

(ঘ) দুইটি বিভিন্ন ধাতুর পাত শক্তভাবে জোড়া লাগাইয়া উত্তপ্ত করিলে বাঁকিয়া যায় কেন?

(ঙ) ধাতুনির্মিত স্কেল বিভিন্ন তাপমাত্রায় নির্ভুলভাবে দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিতে পারে কি?

(চ) প্লাটিনাম তার সহজে কাচের দণ্ডে সীল করা যায় কিন্তু তামার তার করা যায় না কেন?

[Answer the following questions carefully :—

(*a*) Why does a tight stopper become loose when hot water is poured on the neck of the bottle?

(*b*) Why is a small gap left between successive rails while laying the railway lines?

(*c*) What do you mean by saying that the co-efficient of linear expansion of iron is 000012?

(*d*) Why does a composite strip made of two different metals buckle when heated?

(*e*) Can a metal scale measure distances accurately at different temperatures?

(*f*) A platinum wire can be easily fused into a glass rod but not a copper wire; why?]

6. প্রায় সকল কঠিন পদার্থ তাপ পাইয়া দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে এই প্রসারণ কাজের পক্ষে সুবিধাজনক; আবার কোন কোন ক্ষেত্রে অসুবিধাজনক। উদাহরণ দিয়া ইহার সত্যতা প্রমাণ কর।

[Most solids expand when heated; in some cases the expansion can be made to serve useful purposes while in other, it is a nuisance for which allowance has to be made. Give examples of each.]

7. কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়ের কোন পদ্ধতি সবিস্তারে বর্ণনা কর।

[Describe in detail, a method for determining the co-efficient of linear expansion of a solid.]

8. একটি লোহার পাইপ 0°C তাপমাত্রায় 60 ft দীর্ঘ। 100°C তাপমাত্রায় উহার দৈর্ঘ্য কত হইবে? লোহার $\alpha = \cdot 000012$

[An iron pipe is 60 ft long at 0°C. What would be its length at 100°C? α for iron = ·000012] [Ans. 60·072 ft.]

9. 280 cm দীর্ঘ একটি ধাতবদণ্ডের তাপমাত্রা 0°C হইতে 100°C বৃদ্ধি করিলে উহার 2·75 mm দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয়। ঐ ধাতুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

[The temperature of a metal rod, 280 cm. long, is increased from 0°C to 100°C and the expansion in length of the rod was 2·75 mm. Calculate the co-efficient of linear expansion of the metal.] [Ans. $11\cdot9 \times 10^{-6}$]

10. একটি লোহদণ্ড ও একটি দস্তার দণ্ড 0°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে 25·55 এবং 25·5 cm দীর্ঘ। কত তাপমাত্রায় উহাদের দৈর্ঘ্য ঠিক সমান হইবে? লোহার $\alpha = \cdot 00001$ এবং দস্তার $\alpha = \cdot 00003$ প্রতি °C.

[An iron rod and a zinc rod are respectively 25·55 cm. and 25·5 cm. long at 0°C. At what temperature will they be exactly equal in length? α for iron = ·00001 and α for zinc = ·00003 per °C.] [Ans. 98°C]

11. কোন কঠিন পদার্থের ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের দ্বিগুণ ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের তিনগুণ, ইহা প্রমাণ কর।

[Prove that for a solid, the co-efficient of cubical expansion is three times and the co-efficient of surface expansion twice that of linear expansion.]

12. আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ। একখণ্ড তামাকে কঠিন অবস্থায় রাখিয়া উত্তপ্ত করিলে উহার ঘনত্বের কি পরিবর্তন হইবে?

নিম্ন তাপমাত্রায় কোন বস্তুর আয়তনের সহিত উচ্চ তাপমাত্রায় ঐ বস্তুর আয়তনের আংকিক সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

0°C তাপমাত্রায় রক্ষিত একটি আয়তাকার তাম্রখণ্ডকে (6″ × 5″ × 1″) 600°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হইল। তাম্রখণ্ডটির আয়তনবৃদ্ধি নির্ণয় কর। (তামার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক = $0\cdot16 \times 10^{-4}$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড)।

[Define co-efficient of cubical expansion. If a block of copper be heated in the solid state, how will its density be affected?

[**Establish a mathematical relation between the volumes of a body at a higher and at a lower temperature.**

A rectangular block of copper ($8'' \times 5'' \times 1''$) at 0°C is heated to 800°C. Calculate the increase in volume. Co-efficient of linear expansion of copper $= 0·16 \times 10^{-4}$ per degree centigrade.) [*H. S. (Comp.) 1961*]

[Ans. 1·536 cubic inches]

13. 30 ft দীর্ঘ টুকরা টুকরা লোহার রেল দ্বারা লাইন করিতে হইবে। তাপমাত্রার ব্যবধান 50°C হইলে উহাদের প্রত্যেক দুই টুকরার ভিতর কতটা ফাঁক রাখিতে হইবে? লোহার α = ·000012 প্রতি °C.

[A railway line is to be constructed by iron rails, each of which is 30 ft. long. If the temperature difference is 50°C, what gap must be left between each two piece ? α for iron = ·000012 per °C] **(Ans. 0·216 inch)**

14. এলাহাবাদ হইতে দিল্লীর দূরত্ব 390 মাইল। শীতে ও গ্রীষ্মে তাপমাত্রার পরিবর্তন যদি 36°F হইতে 117°F হয় তবে উক্ত রেলপথে রেল কতটুকু ফাঁক রাখিতে হইবে? লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক = ·000012 per °C.

[The distance between Allahabad and Delhi is 390 miles. Find the total space that must be left between the rails to allow for a change of temperature from 36°F in winter to 117°F in summer. Co-efficient of linear expansion of iron = ·000012 per °C.] **(Ans. 0·2084 miles.)**

15. গন্ধকের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক 0·000228 প্রতি °C ; একখণ্ড গন্ধক 0°C তাপমাত্রায় 48 c.c. জল অপসারণ করে। 35°C তাপমাত্রায় উহা কত জল অপসারণ করিবে?

[The coefficient of cubical expansion of sulphur is 0·000228 per °C. A piece of sulphur is found to displace 18 c.c. of water at 0°C ; what volume of water will it displace at 35°C.] **[Ans. 48·38 c. c.]**

16. একটি চাকার ব্যাসার্ধ 3 ft. ; একটি লোহার বেড় 0°C তাপমাত্রায় 2·992 ft. ব্যাসার্ধযুক্ত। তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি করিলে ঐ বেড় চাকার গায়ে পরানো যাইবে? লোহার $\alpha = 12 \times 10^{-6}$.

[The radius of a wheel is 3 ft, and that of an iron tyre is 2·992 ft. at 0°C. At what temperature will the tyre fit exactly on the wheel ? α for iron $= 12 \times 10^{-6}$.] **[Ans. 223°C]**

17. একটি রেললাইন 30 ft. লম্বা টুকরা টুকরা লোহার লাইন দ্বারা তৈয়ারী। 90°F তাপমাত্রায় লাইনগুলি ঠিক মুখে মুখে লাগিয়া যায়। হিমাঙ্ক তাপমাত্রায় প্রত্যেক দুইটি টুকরার ভিতর কতখানি ফাঁক থাকিবে?

[A railway line is made of iron rails, each of which is 30 ft. long. The rails touch each other at 90°F. How much gap will be left between each pair at a temperature corresponding to freezing point ?] **(Ans. 0·14 inch)**

18. একটি ইস্পাত নির্মিত স্কেল 15°C তাপমাত্রায় ত্রুটিবিহীন। 30°C তাপমাত্রায় উক্ত স্কেল-দ্বারা কোন দূরত্ব মাপিয়া দেখা গেল 2000 ft. ঐ দূরত্ব নির্ণয়ে কতটুকু ত্রুটি হইল? ইস্পাতের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক = ·000011.

[A scale, made of steel, is correct at 15°C. A certain distance measured with this scale at 80°C is found to be 2000 ft. Find the error in the measurement. α for steel = ·000011] [Ans. 0·88 ft. less.]

19. তাপমাত্রাভেদ যাহাই হউক না কেন দুইটি দণ্ড A এবং B-এর দৈর্ঘ্যের পার্থক্য সর্বদা 25 cm; যদি উহাদের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক যথাক্রমে $1·28 \times 10^{-5}$ এবং $1·92 \times 10^{-5}$ per °C হয় তবে 0°C তাপমাত্রায় A এবং B এর দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[Two metal bars, A and B, differ in length by 25 cm. whatever might be the change in temperature. If their co-efficients of linear expansion are $1·28 \times 10^{-5}$ and $1·92 \times 10^{-5}$ per °C respectively, calculate the lengths of A and B at 0°C.] [Ans. 75 cm., 50 cm.]

20. প্রতিবিহিত দোলক কাহাকে বলে? তোমার জানা কোন প্রতিবিহিত দোলকের বর্ণনা কর।

[What is a compensated pendulum? Describe a compensated pendulum that you know.]

21. সমান সাইজের এবং একই উপাদানের তৈয়ারী একটি ফাঁপা পাত্র এবং একটি নিরেট পাত্রের আয়তন প্রসারণ কি সমান হইবে?

[Will the volume expansion of a hollow vessel and a solid vessel made of same material and of same size be equal?]

[Objective type Questions]

22. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির মধ্যে যেটির উত্তর 'হাঁ' বলিয়া মনে কর তাহার পাশের শূন্য স্থানে Y এবং যেটির উত্তর 'না' মনে কর তাহার স্থলে N লেখ :—

(i) দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কি দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভর করে?—

(ii) দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কি তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভর করে? —

(iii) পদার্থের প্রসারণ কি সর্বদাই সুবিধাজনক? —

(iv) দৈর্ঘ্য প্রসারণ বা সংকোচনে ঘড়ির সময় রাখা কি বিঘ্নিত হয় বলিয়া মনে কর? —

(v) এমন কোন ধাতু আছে কি যাহার প্রসারণ অতি নগণ্য? —

(vi) ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্কের সহিত আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের কোন সম্বন্ধ আছে কি?

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

তরল ও গ্যাসের প্রসারণ

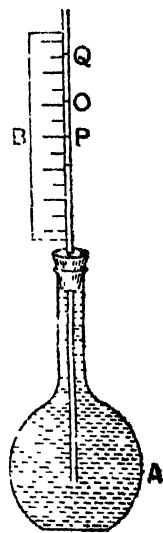
(Expansion of Liquids and Gases)

4-1. তরলের প্রসারণ (Expansion of liquids) :

তাপ প্রয়োগে কঠিন পদার্থের মত তরল পদার্থেরও প্রসারণ হয়। কিন্তু তরলের প্রসারণ আলোচনা করিতে গেলে কয়েকটি কথা মনে রাখিতে হইবে। প্রথমত, তরলের নিজস্ব কোন আকার নাই। তরল পাত্রের আকার ধারণ করে। সুতরাং, ইহার দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্র প্রসারণ সম্ভব নহে। **তরলের মাত্র আয়তন প্রসারণ হয়।** দ্বিতীয়ত, তরলের প্রসারণ লক্ষ্য করিতে গেলে তরলকে কোন পাত্রে রাখিয়া উত্তপ্ত করিতে হইবে। কিন্তু তাপ প্রয়োগে তরলের সঙ্গে সঙ্গে পাত্রেরও প্রসারণ হইবে। সুতরাং **পাত্রের প্রসারণের পরিপ্রেক্ষিতে তরলের প্রসারণ বিচার করিতে হইবে।** নিম্নে বর্ণিত সহজ পরীক্ষা দ্বারা তরলের প্রসারণ দেখানো যাইতে পারে।

তরলের প্রসারণ পরীক্ষা

চিত্র 4ক

পরীক্ষা : A একটি কাচের ফ্লাস্ক। ইহার গলা সরু ও লম্বা। ফ্লাস্কের ছিপি দিয়া একটি সরু কাচনল ঢুকানো আছে। একটি স্কেল B নলের সঙ্গে সংযুক্ত। ফ্লাস্কটি রঙ্গীন জলে পূর্ণ কর এবং নলসহ ছিপি আঁটিয়া দাও। মনে কর জলের তল O দাগ পর্যন্ত পৌঁছিল। এই ফ্লাস্কটিকে গরম জলে পূর্ণ অপর একটি পাত্রে বসাইলে দেখা যাইবে যে রঙ্গীন জল P দাগ পর্যন্ত নামিয়া আসিল। পরে আস্তে আস্তে জলের তল Q দাগ পর্যন্ত পৌঁছিল (4ক নং চিত্র)। এরূপ হইবার কারণ কি ?

গরম জলে ফ্লাস্ক বসাইলে প্রথমে কাচ উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হয়। কিন্তু কাচ ভাল তাপ-পরিবাহী নয় বলিয়া ফ্লাস্কের ভিতরস্থ জল ঐ তাপ তৎক্ষণাৎ পায় না। সুতরাং কাচের প্রসারণের ফলে যে আয়তনের বৃদ্ধি হইল জল তাহা অধিকার করায় জলের তল খানিকটা নামিয়া P দাগ পর্যন্ত পৌঁছায়। কিন্তু

পরে যখন জল তাপ পায় তখন উহার আয়তনের প্রসারণ হয়। জলের আয়তন প্রসারণ কঠিন পদার্থ (এখানে কাচ) অপেক্ষা বেশী বলিয়া জল আস্তে আস্তে O দাগ ছাড়াইয়া Q দাগ পর্যন্ত পৌঁছাইবে।

সুতরাং, জলের আয়তন প্রসারণ প্রকৃতপক্ষে P দাগ হইতে Q দাগ পর্যন্ত এবং কাচের আয়তন প্রসারণ O হইতে P দাগ পর্যন্ত হইল। যদিও কাচ তাপের সুপরিবাহী নয় তবুও ফ্লাস্কের ভিতরের জলের তাপ পাইতে খুব বিশেষ দেরী হয় না এবং কঠিন পদার্থের আয়তন প্রসারণ খুব কম বলিয়া আমরা চোখে তরলের প্রসারণ O দাগ হইতে Q দাগ পর্যন্ত দেখি।

উপরোক্ত কারণে O হইতে Q দাগ পর্যন্ত আয়তন প্রসারণকে বলা হয় **তরলের আয়তনের আপাত** (apparent) **প্রসারণ** এবং P হইতে Q পর্যন্ত আয়তন প্রসারণকে বলা হয় তরলের **আয়তনের প্রকৃত** (real) **প্রসারণ**।

যেহেতু নলটি সমব্যাসযুক্ত, সুতরাং, OP. PQ, এবং OQ আয়তনগুলি উহাদের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

4ক নং চিত্র হইতে বোঝা যায় যে PQ = OQ + OP

অর্থাৎ, **তরলের প্রকৃত প্রসারণ = তরলের আপাত প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ।**

4-2. তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of apparent expansion of a liquid) :

0°C তাপমাত্রার নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন তরলের যে আয়তন হয় প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ঐ আয়তনের প্রতি এককে যে আপাত প্রসারণ হইবে তাহাকে উক্ত তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

ধরা যাউক, কোন তরলের 0°C তাপমাত্রায় আয়তন V_o. উহার তাপমাত্রা t°C করিলে উহার আপাত (apparent) আয়তন ধরা যাউক, V_t হইল। সুতরাং,

t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে তরলের আয়তনের আপাত প্রসারণ $= V_t - V_o$

অথবা, ,, ,, ,, প্রতি একক ,, ,, $= \dfrac{V_t - V_o}{V_o}$

1°C ,, ,, ,, ,, ,, ,, $= \dfrac{V_t - V_o}{V_o t}$

ইহাকেই তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়। যদি এই গুণাঙ্ক γ' ধরা হয়, তবে,

$$\gamma' = \frac{V_t - V_o}{V_o t} = \frac{\text{আয়তনের আপাত প্রসারণ}}{0^\circ\text{C তাপমাত্রায় আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $V_t - V_o = V_0 \gamma' t$

$$\therefore \quad V_t = V_o\{1 + \gamma' t\}$$

ইহা মনে রাখিতে হইবে যে তরলের γ' কোন ধ্রুবক (constant) নহে। তরল যে-পাত্রে রাখা হইবে তাহার উপাদানের উপর γ' নির্ভর করে। উপরন্তু তাপমাত্রার এককের উপরও উহা নির্ভরশীল। সেণ্টিগ্রেড তাপমাত্রায় কোন তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক যদি γ' হয় তবে ফারেনহাইট তাপমাত্রায় $\frac{5}{9}\gamma'$ হইবে।

প্রায় প্রত্যেক তরলেরই আয়তন প্রসারণ খুব কম। তাই প্রাথমিক তাপমাত্রা সর্বদা 0°C না রাখিয়া অন্য কোন তাপমাত্রা রাখিলে বিশেষ কিছু ভুল হয় না। অর্থাৎ t_1°C প্রাথমিক তাপমাত্রায় কোন তরলের আয়তন V_1 এবং t_2 C তাপমাত্রায় উহার আপাত আয়তন V_2 হইলে ($t_2 > t_1$) আমরা উপরোক্ত সমীকরণের সাহায্য লইয়া লিখিতে পারি যে,

$$V_2 = V_1\{1 + \gamma'(t_2 - t_1)\}$$

4-3. তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of real expansion of a liquid) :

0°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন তরলের যে-আয়তন হয় প্রতি 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ঐ আয়তনের প্রতি এককে যে প্রকৃত প্রসারণ হইবে তাহাকে উক্ত তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

ধরা যাউক, কিছু তরলের 0°C তাপমাত্রায় আয়তন V_0. উহার তাপমাত্রা t°C করাতে, ধরা যাউক, প্রকৃত আয়তন দাঁড়াইল V_t. সুতরাং,

t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে তরলের আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ $= V_t - V_0$

অথবা " " " " প্রতি একক আয়তনে " $= \dfrac{V_t - V_o}{V_0}$

1°C " " " " " " " " $= \dfrac{V_t - V_o}{V_o t}$

ইহাকেই তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়। যদি এই গুণাঙ্ক γ ধরা হয়, তবে

$$\gamma = \frac{V_t - V_o}{V_o t} = \frac{\text{আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ}}{0^\circ C \text{ তাপমাত্রায় আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $V_t - V_o = V_o \gamma t$

$$\therefore \quad V_t = V_o \{1 + \gamma t\}$$

ইহা মনে রাখিতে হইবে যে, তরলের γ আধারের উপর নির্ভর করে না। কিন্তু তাপমাত্রার একক পরিবর্তন করিলে γ পরিবর্তিত হইবে। ফারেনহাইটে γ-র মান সেন্টিগ্রেডের মানের $\frac{5}{9}$ ভাগ।

আপাত প্রসারণের ন্যায় প্রকৃত প্রসারণের বেলাতেও প্রাথমিক তাপমাত্রা 0°C-এর পরিবর্তে অন্য তাপমাত্রা লওয়া যাইতে পারে। যেমন, t_1°C প্রাথমিক তাপমাত্রায় কোন তরলের আয়তন V_1 এবং t_2°C তাপমাত্রায় উহার প্রকৃত আয়তন V_2 হইলে ($t_2 > t_1$) লেখা যাইতে পারে যে

$$V_2 = V_1 \{1 + \gamma(t_2 - t_1)\}$$

4-4. আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্কের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation beteen the co-efficients of apparent and real expansion):

ধর, γ = তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক

γ' = ,, আপাত ,, ,,

γ_g = পাত্রের উপাদানের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

ধর 0°C তাপমাত্রায় O দাগ পর্যন্ত ফ্লাস্কটির ভিতরকার আয়তন V_o (4ক নং চিত্র)। সুতরাং, ফ্লাস্কের ভিতরের জলের আয়তনও ঐ তাপমাত্রায় V_o, ধরা যাউক, t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হইল। নলের প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) S হইলে,

পাত্রের ভিতরকার আয়তন প্রসারণ = OP × S

তরলের আপাত আয়তন প্রসারণ = OQ × S

,, প্রকৃত ,, ,, = PQ × S

আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি,

$$\gamma_g = \frac{\text{পাত্রের আয়তন প্রসারণ}}{\text{পাত্রের প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{OP \times S}{V_0 t}$$

$$\gamma' = \frac{\text{তরলের আপাত প্রসারণ}}{0°C \text{ তাপমাত্রায় তরলের আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{OQ \times S}{V_0 t}$$

$$\gamma = \frac{\text{তরলের প্রকৃত প্রসারণ}}{0°C \text{ তাপমাত্রায় তরলের আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{PQ \times S}{V_0 t}$$

এখন $\gamma' + \gamma_g = \frac{S}{V_0 t}\{OP + OQ\} = \frac{PQ \times S}{V_0 t} = \gamma$

অর্থাৎ **তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক + পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক = তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক।**

উদাহরণ :

(1) লম্বা, সূক্ষ্ম ও সমব্যাসযুক্ত কাচের নলে 0°C তাপমাত্রায় 1 metre দীর্ঘ একটি পারদ সূত্র আছে। তাপমাত্রা 100°C-এ বৃদ্ধি করিলে পারদসূত্রের দৈর্ঘ্য 16.5 mm বৃদ্ধি পায়। পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক 0.000182 হইলে কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কত হইবে?

[A long glass tube of uniform capillary bore contains a thread of mercury 1 metre long at 0°C. When the temperature is raised to 100°C the thread of mercury is found to be 16.5 mm longer. If the co-efficient of absolute expansion of mercury be .000182, calculate the co-efficient of linear expansion of glass. [*H. S. (Comp.) 1960*]]

উঃ। ধরা যাউক রন্ধ্রের প্রস্থচ্ছেদ = x sq. cm

0°C তাপমাত্রায় পারদসূত্রের আয়তন V_0 ধরিলে, $V_0 = 100x$ c.c.

পারদসূত্রের আয়তন বৃদ্ধি = 1.65 x c.c.

যদি γ' পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক হয় তবে আমরা জানি,
আয়তন বৃদ্ধি = প্রাথমিক আয়তন × আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক × তাপমাত্রাবৃদ্ধি
অথবা, $1.65\,\alpha = 100.\,\alpha \times \gamma' \times 100$

$$\therefore \quad \gamma' = \frac{1.65}{10^4} = 1.65 \times 10^{-4}$$

এখন, আমাদের জানা আছে,

তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক

= তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক + পাত্রের প্রসারণ গুণাঙ্ক

সুতরাং $1.82 \times 10^{-4} = 1.65 \times 10^{-4}$ + কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক

∴ কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $= (1.82 - 1.65) \times 10^{-4}$

$$= 0.17 \times 10^{-4}$$

অতএব কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $= \dfrac{0.17 \times 10^{-4}}{3}$

$$= 5.6 \times 10^{-6}$$

(2) পারদের প্রসারণ গুণাঙ্ক $\frac{1}{5550}$, একটি পারদ থার্মোমিটারের কুণ্ডের আয়তন 1 c.c. এবং থার্মোমিটার নলের রন্ধ্রের প্রস্থচ্ছেদ 0·001 sq. cm, 0°C তাপমাত্রায় কুণ্ডটি পারদপূর্ণ হইলে 100°C তাপমাত্রায় পারদ কোন্ দাগে পৌছাইবে নির্ণয় কর। কাচের প্রসারণ উপেক্ষণীয়।

[The co-efficient of expansion of mercury is $\frac{1}{5550}$. If the bulb of a mercury thermometer is 1 c.c. and the section of the bore of the tube 0·001 sq. cm, find the position of the mercury at 100°C, if it just fills the bulb at 0°C. Neglect the expansion of glass.]

উ। এক্ষেত্রে 1 c.c. পারদ আয়তনে বৃদ্ধি পাইয়া যে অতিরিক্ত আয়তন অধিকার করিবে তাহা

= প্রাথমিক আয়তন × গুণাঙ্ক × তাপমাত্রার প্রভেদ

$$= 1 \times \frac{1}{5550} \times 100 = \frac{2}{111} \text{ c.c.}$$

এই অতিরিক্ত আয়তনের পারদ থার্মোমিটারের রন্ধ্র অধিকার করিবে। যদি ধরা যায় যে রন্ধ্রের x cm দৈর্ঘ্য অধিকার করিল তবে,

$$x \times \frac{1}{1000} = \frac{2}{111}$$

$$\therefore \quad x = \frac{2000}{111} = 18{\cdot}02 \text{ c.m. (প্রায়)}$$

সুতরাং কুণ্ড হইতে 18·02 cm. দূরে যে দাগ আছে পারদ সেই পর্যন্ত পৌছাইবে।

(3) একটি কাচের ফ্লাস্কের আভ্যন্তরীণ আয়তনের $\frac{3}{20}$ পারদ দ্বারা পূর্ণ। কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক 27×10^{-6} per °C এবং পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক 180×10^{-6} per °C হইলে প্রমাণ কর যে তাপমাত্রার পরিবর্তনে ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থ বাকী অংশের আয়তনের কোন পরিবর্তন হইবে না।

[If a flask is made of glass of co-efficient of volume expansion equal to 27×10^{-6} per °C and $\frac{3}{20}$ of its volume is occupied by mercury (co-efficient of absolute expansion = 180×10^{-6} per °C) show that the volume of the remaining space will not change with change of temperature.]

[*H. S. Exam., 1963*]

উ। মনে কর, 0°C তাপমাত্রায় ফ্লাস্কের আভ্যন্তরীণ আয়তন $= V_0$

অতএব, প্রশ্নানুযায়ী ঐ „ „ অভ্যন্তরস্থ পারদের আয়তন

$$= \frac{3V_0}{20}$$

সুতরাং 0°C তাপমাত্রায় ফ্লাস্কের বাকী অংশের আয়তন

$$= V_0 - \frac{3V_0}{20} = \frac{17V_0}{20}$$

ধর, তাপমাত্রা t°C বৃদ্ধি করা হইল।

এখন, ফ্লাস্কের আভ্যন্তরীণ আয়তন $V = V_0(1 + \gamma_g . t)$

$$= V_0(1 + 27 \times 10^{-6} . t)$$

$$= V_0 + 27 \times V_0 \times 10^{-6} . t.$$

এবং ঐ তাপমাত্রায় পারদের আয়তন $V' = \frac{3V_o}{20}(1+\gamma t)$

$$= \frac{3V_o}{20}(1+180\times 10^{-6}\times t)$$

$$= \frac{3V_o}{20} + 27V_o\times 10^{-6}\times t$$

$\therefore$ ঐ তাপমাত্রায় বাকী অংশের আয়তন $= V - V' = V_o - \frac{3V_o}{20} = \frac{17V_o}{20}$

অতএব দেখা যাইতেছে যে তাপমাত্রার পরিবর্তনে ফ্লাস্কের বাকী অংশের আয়তন পবিবর্তন করিতেছে না।

[**দ্রষ্টব্য ঃ** এ ক্ষেত্রে কাচ এবং পাবদেব আযতন প্রসাবণ গুণাঙ্ক দেখিযাই বলা যায যে বাকী অংশেব আয়তন তাপমাত্রাব উপব নির্ভবশীল নয ; কাবণ কাচেব প্রসাবণ গুণাঙ্ক পাবদেব প্রসাবণ গুণাঙ্কেব $\frac{3}{20}$ এবং ফ্লাস্কেব আযতনেব $\frac{3}{20}$ পাবদ দ্বাবা অধিকৃত। সুতবাং বাকী অংশেব আযতন সবদা অপবিবর্তিত থাকিবে।]

(4) একটি থার্মোমিটারেব কুণ্ডে 0·45 c c. পারদ আছে। থার্মোমিটাব নলেব রন্ধ্রেব প্রস্থচ্ছেদ কত হইলে প্রত্যেক দুইটি ডিগ্রী দাগের অন্তবর্তী দূরত্ব 2 mm. হইবে ? কাচ সাপেক্ষে পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $1{\cdot}55\times 10^{-4}$.

[The bulb of a thermometer contains 0·45 c c. of mercury. What must be the cross-section of the bore of the thermometer tube in order that the degree graduations be 2 mm. apart. Co-efficient of apparent expansion of mercury in glass is $1{\cdot}55\times 10^{-4}$.]

উ। ধর, রন্ধ্রেব প্রস্থচ্ছেদ $= \alpha$ sq. mm. ; প্রত্যেক দুইটি ডিগ্রী দাগের দূরত্ব 2 mm. হইলে 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে পারদের আপাত প্রসারণ হইবে

$$= 2\alpha \text{ cubic millimetre}$$

এখন, 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিব পারদের আপাত প্রসারণ

$$= 0{\cdot}45\times 1000\times 1{\cdot}55\times 10^{-4} \text{ cubic mm.}$$

$$= 0{\cdot}45\times 0{\cdot}155 \text{ cubic mm.}$$ [0·45 cc = ·45 × 1000 cubic mm.]

$\therefore \quad 2\alpha = 0{\cdot}45\times 0{\cdot}155$

$\therefore \quad \alpha = \frac{0{\cdot}45\times 0{\cdot}155}{2} = 0{\cdot}0349$ sq. mm.

4-5. তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of co-efficient of apparent expansion of liquid) :

(ক) ডিলাটোমিটার বা আয়তন থার্মোমিটার দ্বারা (By the Dilatometer or Volume thermometer) :

4খ নং চিত্রে একটি ডিলাটোমিটার দেখানো হইয়াছে। এই যন্ত্রে একটি কাচের কুণ্ড থাকে। কুণ্ডটি একটি 20 কি 30 cm. লম্বা, সরু ও সমব্যাসযুক্ত কাচনলের সহিত যুক্ত। নলের গায়ে আয়তন নির্দেশক দাগ কাটা আছে। কুণ্ড ও নলের খানিকটা অংশ কোন তরল দ্বারা ভর্তি করিলে ঐ দাগ হইতে তরলের মোট আয়তন জানা যাইবে।

ধর, পরীক্ষাধীন তরল দ্বারা কুণ্ড ও নলের কিছু অংশ পূর্ণ করিয়া বরফে ডুবাইয়া রাখিলে তরল P দাগ পর্যন্ত পৌছিল। অর্থাৎ, 0°C তাপমাত্রায় তরলের আয়তন উক্ত দাগ হইতে পাওয়া যাইবে। ধরা যাউক, ইহা V_0, অতঃপর কুণ্ডকে একটি জলপূর্ণ পাত্রে রাখিয়া ঐ জলকে আস্তে আস্তে গরম কর এবং t°C তাপমাত্রায় স্থির রাখ। ধর, তরল আয়তনে প্রসারিত হইয়া Q দাগ পর্যন্ত পৌছিল ; ইহার আয়তন ধরা যাউক, V_t.

ডিলাটোমিটার বা আয়তন থার্মোমিটার
চিত্র 4খ

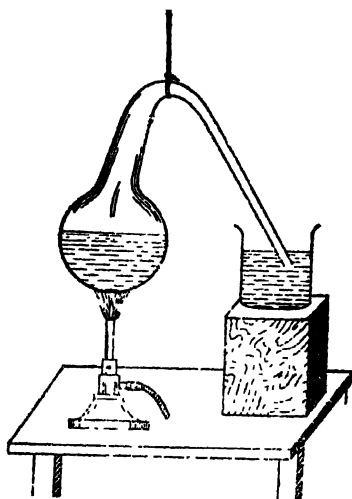
সুতরাং, $V_t - V_0$ = তরলের আয়তনের আপাত প্রসারণ।

$$\therefore \quad \gamma' = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$$

(খ) ভার থার্মোমিটার দ্বারা (By Weight thermometer) :

ভার থার্মোমিটার বস্তুত একটি সরু বাঁকা নলযুক্ত কাচের কুণ্ড। পর পৃষ্ঠার 4গ নং চিত্রে একটি ভার থার্মোমিটারের ছবি দেখানো হইল।

প্রথমে ইহাকে খালি অবস্থায় ওজন কর। ধর, ইহা m_1 gm. পরে সচালো মুখ পরীক্ষাধীন তরলে ডুবাইয়া কুণ্ডটি একটু গরম কর। কুণ্ডের ভিতরের বায়ু আয়তনে বাড়িয়া তরলের ভিতর দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। এখন কুণ্ডকে ঠাণ্ডা করিলে কিছু তরল সরু মুখ দিয়া কুণ্ডে প্রবেশ করিবে। এইরূপ কয়েকবার কুণ্ডকে পর্যায়ক্রমে গরম ও ঠাণ্ডা করিলে

থার্মোমিটার তরল দ্বারা পূর্ণ হইবে। সূচালো মুখ তরলে ডুবাইয়া কুণ্ডকে ঘরের তাপমাত্রায় ফিরিয়া আসিতে দাও। অতঃপর পুনরায় ইহার ওজন লও। ধর, ইহা m_2 gm; ঘরের তাপমাত্রা লক্ষ্য কর। মনে কর, ইহা t_1°C. এইবার কুণ্ডকে একটি জলপূর্ণ পাত্রে ডুবাও এবং জল আস্তে আস্তে গরম কর। কুণ্ডের অভ্যন্তরস্থ তরল আয়তনে বাড়িবে এবং নল বাহিয়া বাহির হইয়া যাইবে। জলকে t_2°C তাপমাত্রায় বেশ কিছুক্ষণ স্থির রাখ। সূচালো মুখ দিয়া কুণ্ডের তরল যখন আর বাহির হইবে না তখন কুণ্ডকে জল হইতে তুলিয়া আন ও ঠাণ্ডা হইতে দাও। যখন কুণ্ড আবার ঘরের তাপমাত্রা পাইবে তখন ইহাকে পুনরায় ওজন কর। ধর, এই ওজন হইল m_3 gm.

ভার থার্মোমিটার
চিত্র 4গ

গণনা ঃ

$m_2 - m_1 = M_1$ (ধর) $= t_1$°C তাপমাত্রায় থার্মোমিটার পূর্ণ তরলের ভর

$m_3 - m_1 = M_2$ (ধর) $= t_2$°C „ „

স্তরাং, $M_1 - M_2 =$ বহিষ্কৃত তরলের ভর

কাচের আয়তনকে উপেক্ষা করিয়া বলা যাইতে পারে যে t_1°C তাপমাত্রায় M_1 gm. তরলের আয়তন $= t_2$°C তাপমাত্রায় M_2 gm. তরলের আয়তন।

এখন t_1°C তাপমাত্রায় M_1 gm. তরলের আয়তন $= \dfrac{M_1}{D}$

[$D = t_1$°C-এ তরলের ঘনত্ব]

এবং t_1°C তাপমাত্রায় M_2 gm. তরলের আয়তন $= \dfrac{M_2}{D}$

∴ t_2°C তাপমাত্রায় M_2 gm. তরলের আপাত আয়তন

$$= \frac{M_2}{D}\left\{1+\gamma'(t_2 - t_1)\right\}$$

[$\gamma' =$ তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক]

$$\therefore \quad \frac{M_1}{D} = \frac{M_2}{D}\left\{1+\gamma'(t_2-t_1)\right\}$$

অথবা, $\frac{M_1}{M_2} = 1+\gamma'(t_2-t_1)$

অথবা, $\frac{M_1-M_2}{M_2} = \gamma'(t_2-t_1)$

$$\therefore \quad \gamma' = \frac{M_1-M_2}{M_2(t_2-t_1)} = \frac{\text{বহিষ্কৃত তরলের ভর}}{t_2°C\text{-এ অবশিষ্ট তরলের ভর} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

[দ্রঃ এই পরীক্ষায় আয়তনের পরিবর্তে তরলের ওজন নির্ণয় করিয়া আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির করা হয় বলিয়া যন্ত্রটিকে ভার থার্মোমিটার বলে। তাছাড়া আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক জানা থাকিলে এই পদ্ধতিতে কোন অজ্ঞাত তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায় বলিয়া ইহার নাম থার্মোমিটার দেওয়া হইয়াছে।]

উদাহরণ :

(1) একটি ভার থার্মোমিটারে 0°C তাপমাত্রায় 300 gms পারদ আছে। ফুটন্ত জলে থার্মোমিটার ডুবাইলে 4·54 gms পারদ বাহির হইয়া গেল। পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক কত ?

[A weight thermometer contains 300 gms of mercury at 0°C when it is placed in boiling water, 4·54 gms of mercury were expelled. What is the co-efficient of apparent expansion of mercury ?]

উ। বহিষ্কৃত পারদের ভর = 4·54 gms

অবশিষ্ট পারদের ভর = 300 − 4·54 = 295·46 gms

ফুটন্ত জলের তাপমাত্রা = 100 C

আমরা জানি

$$\gamma' = \frac{\text{বহিষ্কৃত পারদের ভর}}{\text{অবশিষ্ট পারদের ভর} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

$$= \frac{4{\cdot}54}{295{\cdot}46 \times 100} = 15 \times 10^{-5}$$

(2) একটি ভার থার্মোমিটারে 10°C তাপমাত্রায় 82 gms তরল আছে। ঐ তরলকে 85°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে 2 gms তরল বহিষ্কৃত হইয়া যায়। তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক 9×10^{-6}.

[A weight thermometer contains 82 gms. of liquid at 10°C and on heating it to 85°C, 2 gms of liquid were expelled. Find the co-efficient of absolute expansion of the liquid if the co-efficient of linear expansion of glass is 9×10^{-6}.]

উ। বহিষ্কৃত তরলের ভর = 2 gms.

অবশিষ্ট তরলের ভর = 82 − 2 = 80 gms.

তাপমাত্রার পার্থক্য = 85 − 10 = 75°C.

তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক γ' ধরিলে,

$$\gamma' = \frac{\text{বহিষ্কৃত তরলের ভর}}{\text{অবশিষ্ট তরলের ভর} \times \text{তাপমাত্রার পার্থক্য}}$$

$$= \frac{2}{80 \times 75}$$

$$= {\cdot}000333$$

এখন, কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক = 3 × দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$= 3 \times {\cdot}000009$$

$$= {\cdot}000027$$

আবার, আমরা জানি,

তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক

= তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক + কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$= {\cdot}000333 + {\cdot}000027$$

$$= {\cdot}00036$$

146. তরলের ঘনত্বের সহিত উহার প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্কের সম্পর্ক (Relation between density and co-efficient of real expansion of a liquid) :

ধরা যাউক, কিছু পরিমাণ তরলের ভর 'm' এবং t_1°C তাপমাত্রায় উহার ঘনত্ব ও আয়তন যথাক্রমে D_1 এবং V_1. এখন ঐ তরলকে উষ্ণ করিলে উহার আয়তন ও ঘনত্ব পরিবর্তিত হইবে। ধর, t_2°C তাপমাত্রার উক্ত তরলের ঘনত্ব ও আয়তন যথাক্রমে D_2 ও V_2 হইল ($t_2 > t_1$)।

যেহেতু, ভর = আয়তন × ঘনত্ব

অতএব $m = V_1 D_1 = V_2 D_2$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_1\{1+\gamma(t_2 - t_1)\}}{V_1}$$

[γ = তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক]

$$= \{1+\gamma(t_2 - t_1)\}$$

$$\therefore \quad D_1 = D_2\{1+\gamma(t_2 - t_1)\}$$

যদি প্রাথমিক তাপমাত্রা 0°C এবং প্রাথমিক ঘনত্ব D_o হয় তবে t°C-এ ঘনত্ব D_t ধরিলে উপরোক্ত সমীকরণের সহায়তায় লেখা যাইবে যে

$$D_o = D_t\{1+\gamma.t\}$$

উদাহরণ ঃ

(1) 0°C তাপমাত্রায় কোন তরলের ঘনত্ব 8·9 gms/c.c. হইলে 20°C তাপমাত্রায় উহার ঘনত্ব কত হইবে? [তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক = ·000017 × 3]

[If the density of a liquid at 0°C be 8·9 gms/c.c. what will be the density at 20°C ? Co-efficient of real expansion of liquid = ·000017 × 3]

উ। আমরা জানি, $D_o = D_t\{1+\gamma.t\}$

এস্থলে D_o = 8·9 gms/c.c. , t = 20 C ; D_t = ?

সুতরাং, $8{\cdot}9 = D_t\{1 + {\cdot}000017 \times 3 \times 20\}$

$$\therefore \quad D_t = \frac{8{\cdot}9}{1+{\cdot}000017 \times 3 \times 20} = \frac{8{\cdot}9}{1{\cdot}00102}$$

$$= 8{\cdot}89 \text{ gms/c.c.}$$

(2) 0°C তাপমাত্রায় 1 c.c. জলের ওজন 0·999874 gm এবং 4°C তাপমাত্রায় ওজন 1 gm. হইলে ঐ তাপমাত্রার মধ্যে জলের গড় প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

[1 c.c. of water weighs 0·999874 gm at 0°C and 1 gm. at 4°C. Find the mean co-efficient of absolute expansion of water between 0°C and 4°C]

উ। এক্ষেত্রে D_0 = 0·999874 gm/c.c. এবং D_t = 1 gm/c.c. এবং t = 4°C.

যেহেতু 0°C হইতে 4°C পর্যন্ত তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে জলের ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়, কাজেই আমরা যে সমীকরণের সাহায্যে লইব তাহা $D_t = D_0(1+\gamma.t)$

[γ = জলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক]

অথবা, $1 = 0{\cdot}999874\,(1+4.\gamma)$

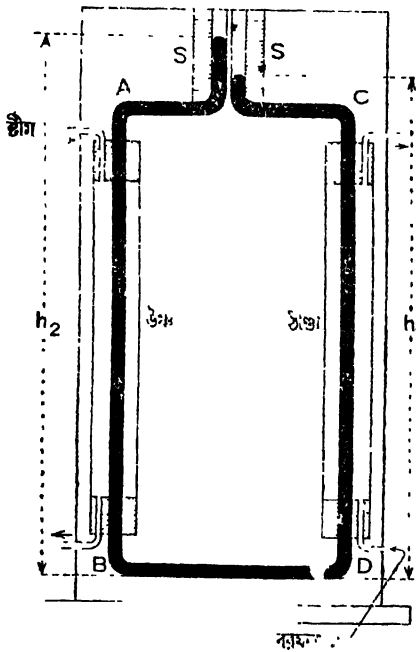
$$\therefore \quad \gamma = \frac{1-{\cdot}999874}{4\times{\cdot}999874} = \frac{{\cdot}000126}{4\times{\cdot}999874} = {\cdot}0000315$$

4-7. Dulong এবং Petit-এর পদ্ধতিতে তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of co-efficient of real expansion of liquid by Dulong and Petit's method) :

Dulong এবং Petit-এর পদ্ধতি

4ঘ নং চিত্র

এই পদ্ধতি দ্বারা সরাসরি কোন তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। নিম্নে ইহার বিবরণ দেওয়া হইল।

একটি কাচের নলকে বাঁকাইয়া 4ঘ নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ অনেকটা চতুষ্কোণ করা হয়। নলের AB এবং CD বাহুদ্বয় খাড়া এবং BD বাহু অনুভূমিক। A এবং C অংশের পরে নলটির দুই বাহু খানিকটা অনুভূমিক থাকিয়া পরস্পরের নিকট সরিয়া পুনরায় খাড়া হইয়াছে। ঐ খাড়া অংশের দুই পাশে দুইটি স্কেল S এবং S কাঠের ফ্রেমের গায়ে আঁটা থাকে। AB এবং CD বাহুদ্বয় দুইটি মোটা নল দ্বারা আবৃত। ঐ নল দুইটির মুখগুলি কর্ক দ্বারা আটকানো। কর্কের ছিদ্র দিয়া সরু টিউবের সাহায্যে একটি নলের ভিতর দিয়া ষ্টীম এবং অন্যটির ভিতর দিয়া বরফ-জল পাঠাইবার

ব্যবস্থা আছে। চিত্রে AB বাহুর চতুর্দিকে ষ্টীম এবং CD বাহুর চতুর্দিকে বরফ-জল পাঠাইবার ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। ইহার ফলে AB বাহুর তরলস্তম্ভ উষ্ণ এবং CD বাহুর তরলস্তম্ভ ঠাণ্ডা থাকিবে। এই তাপমাত্রাভেদের জন্য AB বাহুর তরল কম ঘন এবং CD বাহুর তরল বেশী ঘন হইবে। ফলে সাম্য প্রতিষ্ঠার দরুন উহাদের উচ্চতা ভিন্ন হইবে। বাম দিকের তরল কম ঘন বলিয়া উহার উচ্চতা ডান দিকের বেশী ঘন তরলের উচ্চতা অপেক্ষা বেশী হইবে। দুই বাহুতে তাপমাত্রার কোন প্রভেদ না থাকিলে উচ্চতারও কোন প্রভেদ থাকিবে না। BD বাহু দিয়া যাহাতে তাপ চলাচল করিতে না পারে এইজন্য BD বাহু ভিজা ব্লটিং কাগজ দিয়া মুড়িয়া রাখা হয়।

ধরা যাউক, সাম্য প্রতিষ্ঠিত হইবার পর BD অনুভূমিক তল হইতে ঠাণ্ডা তরলস্তম্ভের উচ্চতা h_1 এবং উষ্ণ তরলস্তম্ভের উচ্চতা h_2 হইল। ঠাণ্ডা তরলস্তম্ভের তাপমাত্রা 0°C এবং উষ্ণ তরলস্তম্ভের তাপমাত্রা t C ধরিলে প্রশমনকারী তরলস্তম্ভের সাম্য হইতে (উদস্থিতি বিদ্যার 2-8 অনুচ্ছেদ) আমরা জানি,

$$\frac{\text{ঠাণ্ডা তরলস্তম্ভের উচ্চতা } (h_1)}{\text{উষ্ণ তরলস্তম্ভের উচ্চতা } (h_2)} = \frac{\text{উষ্ণ তরলের ঘনত্ব } (D_t)}{\text{ঠাণ্ডা তরলের ঘনত্ব } (D_0)}$$

আমরা পূর্বে দেখিয়াছি, $D_0 = D_t\{1+\gamma(t-0)\}$ (4-6 অনুচ্ছেদ)

$$= D_t\{1+\gamma t\}$$

$$\therefore \frac{h_1}{h_2} = \frac{D_t}{D_t\{1+\gamma t\}} = \frac{1}{1+\gamma t}$$

বা, $h_1 + \gamma\, t\, h_1 = h_2$

বা, $\gamma\, t\, h_1 = h_2 - h_1$

$$\therefore \gamma = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t}$$

অর্থাৎ, প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$= \frac{\text{তরলস্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতার প্রভেদ}}{\text{ঠাণ্ডা তরলস্তম্ভের উচ্চতা} \times \text{তাপমাত্রার প্রভেদ}}$$

[দ্রঃ এই পদ্ধতিতে প্রশমনকারী তরলস্তম্ভদ্বয়ের নীতি অনুযায়ী প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করা হয় বলিয়া কাচের নলের প্রসারণ হিসাব করিবার প্রয়োজন

হয় না; সুতরাং এই পদ্ধতি হইতে তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক পাওয়া যায়।]

উদাহরণ:

100°C তাপমাত্রায় একটি পারদস্তম্ভ 0°C তাপমাত্রায় অপর একটি পারদ-স্তম্ভের সহিত সাম্য প্রতিষ্ঠা করে। উহাদের উচ্চতা যথাক্রমে 76·35 cm. এবং 75 cm.; পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

[A column of mercury 76·35 cm. long at 100°C balances another column of length 75 cm. at 0°C. Calculate the co-efficient of real expansion of mercury.]

উ। আমরা জানি, প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$= \frac{\text{তরলস্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতার প্রভেদ}}{\text{ঠাণ্ডা তরলস্তম্ভের উচ্চতা} \times \text{তাপমাত্রার প্রভেদ}}$$

$$= \frac{76{\cdot}35 - 75}{75 \times (100 - 0)} = \frac{1{\cdot}35}{75 \times 100} = 1{\cdot}8 \times 10^{-4}$$

কয়েকটি তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্কের তালিকা

তরল	প্রতি °C	প্রতি °F
জল (15° – 100°C)	·00037	·0002
পারদ	·00018	·0001
অ্যাল্‌কোহল	·0011	·00061
তার্পিন তেল	·00105	·00054

4-8. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ (Anomalous expansion of water):

উত্তপ্ত হইলে তরলের আয়তনের প্রসারণ হয় এবং ঠাণ্ডা হইলে আয়তনের সংকোচন হয়। ইহাই তরলের সাধারণ নিয়ম। কিন্তু জলের বেলাতে ইহার কিছু ব্যতিক্রম দেখা যায়। কিছু পরিমাণ জলকে 0°C তাপমাত্রায় আনিয়া পরে আস্তে আস্তে গরম করিলে দেখা যাইবে যে উক্ত জলের আয়তন বৃদ্ধি না

পাইয়া সংকুচিত হইতেছে। আয়তনের এই সংকোচন চলিবে, যতক্ষণ না তাপমাত্রা 4°C-এ পৌঁছায়। 4°C-এর পর তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে অন্যান্য তরলের ন্যায় জলেরও আয়তনের প্রসারণ হইবে।

আবার কিছু পরিমাণ উষ্ণ জল লইয়া আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা করিলে অন্যান্য তরলের ন্যায় ঐ জলেরও আয়তন কমিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না তাপমাত্রা 4°C-এ পৌঁছায়। কিন্তু 4°C হইতে 0°C পর্যন্ত ঠাণ্ডা করিলে জলের আয়তন না কমিয়া বৃদ্ধি পাইবে। সুতরাং **4°C হইতে 0°C পর্যন্ত তাপমাত্রার ব্যবধানে জলের আয়তন প্রসারণ অন্যান্য তরল হইতে ভিন্ন।** ইহাকে জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলে।

উপরোক্ত আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে, **নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের 4°C তাপমাত্রায় আয়তন সর্বাপেক্ষা কম।** যেহেতু ঘনত্ব আয়তনের ব্যস্তানুপাতিক (inversely proportional), অতএব ইহা বলা যায় যে, **4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী।**

4-9. জলের ব্যতিক্রান্ত ব্যবহার প্রদর্শনের পরীক্ষা (Experimental study of anomalous behaviour of water):

4খ নং চিত্রে প্রদর্শিত ডিলাটোমিটারের সাহায্যে জলের উপরোক্ত ব্যতিক্রান্ত ব্যবহার দেখানো যাইতে পারে।

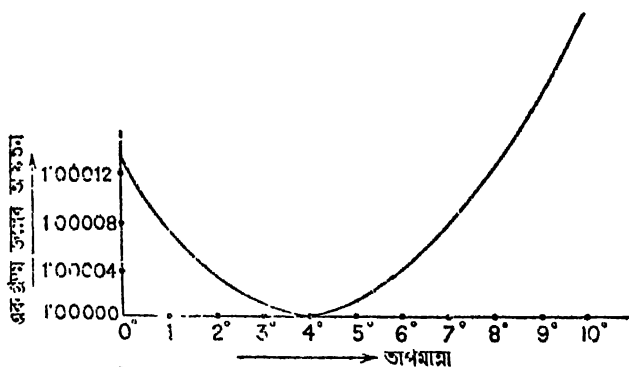
ডিলাটোমিটারের আয়তনের $\frac{1}{7}$ অংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ কর। পারদের প্রসারণ গুণাঙ্ক কাচ অপেক্ষা সাতগুণ বলিয়া ডিলাটোমিটারের বাকী অংশের আয়তন তাপমাত্রা পরিবর্তনে বদলাইবে না। সুতরাং ঐ অংশে যদি কোন তরল থাকে তবে তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাস পাইলে তরলের আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ বা সংকোচন হইবে।

জলের ব্যতিক্রান্ত ব্যবহার পরীক্ষা করিবার জন্য উপরোক্ত পারদপূর্ণ ডিলাটোমিটারের নলের কোন এক দাগ পর্যন্ত পাতিত জল (distilled water) দ্বারা পূর্ণ কর। এখন কুণ্ড ও নলের ঐ দাগ পর্যন্ত 0°C তাপমাত্রায় রক্ষিত বরফ-জলে নিমজ্জিত কর। যখন নলে জলের তল স্থির হইবে তখন উহার আয়তন লক্ষ্য কর। বরফ-জলে একটি থার্মোমিটার ডুবাও। এখন আস্তে আস্তে বরফজলকে উষ্ণ কর এবং প্রতি $\frac{1}{2}$ °C তাপমাত্রা অন্তর স্কেলে জলের তল কোন্ দাগ পর্যন্ত থাকে তাহা লক্ষ্য কর। এইভাবে জলকে 10°C পর্যন্ত উষ্ণ

কর। দেখা যাইবে যে 0°C হইতে 4°C পর্যন্ত জলের তল স্কেল বাহিয়া নামিতে থাকিবে এবং পরে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে জলের তল স্কেল বাহিয়া উঠিতে থাকিবে।

এক গ্রাম জলের আয়তন (সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে) তাপমাত্রার সহিত কিরূপ পরিবর্তিত হয় তাহা আয়তন-তাপমাত্রা লেখ-চিত্রে (graph) দেখানো হইল (4৬ নং চিত্র)। এই লেখ-চিত্রে আয়তনকে উল্লম্ব অক্ষ (vertical axis) এবং তাপমাত্রাকে অনুভূমিক অক্ষ (horizontal

আয়তন তাপমাত্রা লেখ-চিত্র

চিত্র 4৬

axis) বরাবর অঙ্কন করা হইয়াছে। চিত্র হইতে ইহা পরিষ্কাররূপে বোঝা যায় যে 0°C হইতে 4°C পর্যন্ত আয়তন ক্রমশ কমিতেছে এবং 4°C-এ আয়তন সর্বাপেক্ষা কম। পরে তাপমাত্রার বৃদ্ধির সঙ্গে আয়তন বৃদ্ধি পাইতেছে।

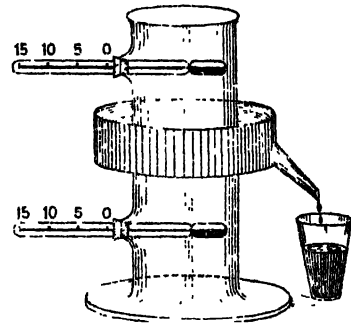
অতএব 4°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের আয়তন সর্বাপেক্ষা কম অথবা ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী।

লেখ-চিত্রে আর একটি জিনিস লক্ষ্য করিবার আছে। 4°C-এর কাছাকাছি লেখ-চিত্রের অংশ অনেকটা অনুভূমিক। ইহা প্রমাণ করে যে, **4°C-র কাছাকাছি সামান্য তাপমাত্রা পরিবর্তনে জলের ঘনত্বের বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না। এই কারণে 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্বকে একক ধরা হয়।**

4-10. 4°C-এ জলের সর্বোচ্চ ঘনত্ব প্রদর্শনের জন্য হোপের পরীক্ষা (Hope's experiment to demonstrate the maximum density of water at 4°C) :

4চ নং চিত্রে এই পরীক্ষার উপযুক্ত ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি লম্বা কাচের চোঙ। ইহার গায়ের দুইটি ছিদ্র দিয়া দুইটি থার্মোমিটার ঢুকানো। এই দুই থার্মোমিটারের মাঝখানে এবং চোঙের মাঝ বরাবর একটি পাত্র চোঙকে ঘিরিয়া আছে। এই পাত্রে লবণ ও বরফ মিশাইয়া একটি হিম-মিশ্রণ (freezing mixture) রাখা আছে। এই মিশ্রণের তাপমাত্রা −20°C. মিশ্রণের বরফ গলিয়া জল হইলে তাহা নিষ্কাশনের জন্য ঐ পাত্রে একটি নল থাকে।

হোপের পরীক্ষা ব্যবস্থা

চিত্র 4চ

এখন চোঙটি বিশুদ্ধ জলদ্বারা পূর্ণ কর। প্রথমে দুইটি থার্মোমিটারই সমান তাপমাত্রা দেখাইবে। কিন্তু কিছুক্ষণ পরে দেখা যাইবে যে নীচের থার্মোমিটারের তাপমাত্রা কমিতেছে কিন্তু উপরের থার্মোমিটারের তাপমাত্রা ঠিকই আছে। উহার কারণ এই যে, হিম-মিশ্রণযুক্ত পাত্রের কাছাকাছি জল হিম-মিশ্রণের সংস্পর্শে ঠাণ্ডা হইয়া আয়তনে সঙ্কুচিত হয় এবং উহার ঘনত্ব বাড়ে। এই ভারী ঠাণ্ডা জল নীচের দিকে নামিবে এবং নীচ হইতে অপেক্ষাকৃত হাল্কা ও গরম জল উপরের দিকে যাইবে এবং যখন হিম-মিশ্রণের কাছে পৌঁছাইবে তখন আবার ঠাণ্ডা হইবে। এই ঠাণ্ডা জল ভারী হইয়া আবার নীচের দিকে যাইবে। জলের এই চলাচলের দরুন নীচের থার্মোমিটারে তাপমাত্রা ক্রমশ কমিতে থাকিবে। কিন্তু উপরের থার্মোমিটারে কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে না, কারণ, উপরের জলের কোন চলাচল না হওয়ায় উষ্ণতার কোন পরিবর্তন এযাবৎ হইবে না।

যখন নীচের থার্মোমিটারে 4°C তাপমাত্রা হইবে তখন নীচের জলের তাপমাত্রা আর কমিতে দেখা যাইবে না। ইহা প্রমাণ করে যে হিম-মিশ্রণযুক্ত পাত্রের কাছাকাছি জল 4°C অপেক্ষা আরো ঠাণ্ডা হওয়াতে ভারী হইতেছে না—অর্থাৎ ঘনত্ব বাড়িতেছে না। বরং এবার দেখা যাইবে যে, উপরের

থার্মোমিটারে তাপমাত্রা কমিতে সুরু করিয়াছে। ইহার কারণ, হিম-মিশ্রণ পাত্রের কাছাকাছি জলের তাপমাত্রা 4°C-এর কম হওয়াতে ঘনত্ব কমিয়া গেল. এবং হাল্কা হওয়াতে উপরের দিকে উঠিল। যখন, ঐ পাত্রের কাছাকাছি জলের 0°C-এর কম তাপমাত্রা হইবে তখন ঐ জল জমিয়া বরফ হইবে এবং জল অপেক্ষা বরফ হাল্কা বলিয়া উপরে ভাসিয়া উঠিবে। সুতরাং, উপরের থার্মোমিটার 0°C তাপমাত্রা দেখাইবে কিন্তু নীচের জল এবং নীচের থার্মোমিটার সর্বদা 4°C তাপমাত্রায় থাকিবে।

অতএব এই পরীক্ষা প্রমাণ করে যে 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ।

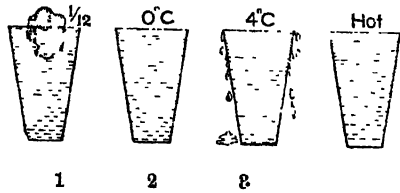
4-11. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফল (Consequence of anomalous expansion of water) :

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফলে শীতের দেশে খুব ঠাণ্ডার দিনে জলচর প্রাণী বাঁচিয়া থাকে। কাজেই প্রকৃতি জলের এই অদ্ভুত ব্যবহারকে নিজের কাজে লাগাইয়াছে।

কোন নদী বা পুকুরের জল খুব ঠাণ্ডা হইলে কিরূপ অবস্থার উদ্ভব হয় তাহা উপরোক্ত হোপের পরীক্ষা হইতে সহজেই বোঝা যায়। প্রথমে জলের উপরিভাগ ঠাণ্ডা হাওয়ার সংস্পর্শে ক্রমশ শীতল হইয়া ভারী হইবে এবং তলায় চলিয়া যাইবে। তলার অপেক্ষাকৃত গরম জল উপরের দিকে আসিবে। কাজেই তলার জল ক্রমশ ঠাণ্ডা হইবে। কিন্তু যেই তলার জলের তাপমাত্রা 4°C হইল তখন আর জল তলার দিকে আসিবে না। কারণ, উপরের জলের তাপমাত্রা 4°C-এর কম হইলে হাল্কা হইবে এবং উপরেই থাকিবে। কাজেই উপরের জল ক্রমশ ঠাণ্ডা হইয়া বরফে পরিণত হইবে কিন্তু তাহার তলার জল 4°C-এ উষ্ণ থাকিবে। বরফ যদি জল অপেক্ষা ভারী হইত তবে বরফ নীচে ডুবিয়া যাইত এবং সেক্ষেত্রে জলাশয়ের সব জল জমিয়া বরফে পরিণত হইত। কিন্তু প্রাকৃতিক নিয়ম এমনই যে তাহা হইতে পারে না। সেজন্য প্রচণ্ড শীতের দিনেও যখন পুকুর বা নদীর উপরিভাগ জমিয়া বরফে পরিণত হয় তখন নীচের জল 4°C তাপমাত্রায় থাকে এবং এই কারণে মাছ এবং অন্যান্য জলচর প্রাণী শীতের দিনেও বাঁচিয়া থাকে।

4-12. জলের আয়তন সম্পর্কিত একটি সমস্যা (A problem in connection with the volume of water) :

জলের আয়তন সম্পর্কে একটি কৌতূহলোদ্দীপক প্রশ্ন তোলা যাইতে পারে। মনে কর, একটি গ্লাস কানায় কানায় জলপূর্ণ এবং ঐ অবস্থায় জলের ভিতর এক টুকরা বরফ ভাসিতেছে। এখন প্রশ্ন হইতেছে যে বরফ টুকরাটি গলিয়া জল হইলে এবং জলের তাপমাত্রা 0°C থাকিলে জলের তল কোথায় থাকিবে ? গ্লাসের জলের তাপমাত্রা 4°C করিয়া অথবা উত্তপ্ত জল লইয়া বরফ ভাসাইলেই বা জলের তল কোথায় থাকিবে ?

গ্লাস কানায় কানায় জলপূর্ণ থাকায় এবং গলিয়া আরো জল তৈয়ারী হওয়ায় স্বভাবত মনে হইবে যে জল গ্লাস হইতে উপচাইয়া পড়িবে। কিন্তু তাহা হইবে না ; জলের তল যেমন ছিল তেমনি থাকিবে। ইহার কারণ এই যে 0°C তাপমাত্রায় 11 c.c. জল জমিয়া 0°C তাপমাত্রায় বরফে পরিণত হইলে 12 c.c. বরফ পাওয়া যায়। ঐ বরফ যখন জলে ভাসে তখন উহার আয়তনের 12 ভাগের এক ভাগ জলের বাহিরে এবং 11 ভাগ জলের ভিতরে থাকে [চিত্র দেখ]।

চিত্র 4চ (i)

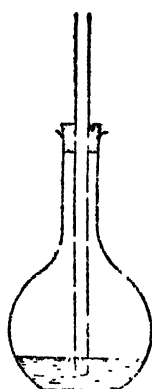
সুতবাং ভাসমান অবস্থায় বরফ উহার আয়তনের ঐ 11 ভাগ জল অপসারণ করিয়া ভাসিবে। আবার গলিয়া জল হইলে ঐ 11 ভাগ জল পাওয়া যাইবে। উৎপন্ন জলের আয়তন এবং অপসারিত জলের আয়তন সমান হওয়ায় 0°C তাপমাত্রায় বরফ গলিয়া গেলেও গ্লাস কানায় কানায় ভর্তি থাকিবে—জলের তলের কোন পরিবর্তন হইবে না (দ্বিতীয় ছবি দেখ)।

যদি 4°C তাপমাত্রার জলে বরফ ভাসে তবে বরফ ঐ জল হইতে তাপ লইয়া গলিবে এবং বরফ গলা-জল এবং গ্লাসের জলের তাপমাত্রা 4°C অপেক্ষা কম হইবে। এক্ষেত্রে যদিও বরফ গলা জলের আয়তন এবং অপসারিত জলের আয়তন সমান তথাপি সমগ্র জলের তাপমাত্রা 4°C এর কম হওয়াতে জলের আয়তন বৃদ্ধি পাইবে। কারণ আমরা জানি জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফলে জলের তাপমাত্রা 4°C-এর কম হইলে জলের আয়তন বৃদ্ধি পায়। ফলে গ্লাসের জল উপচাইয়া পড়িবে (তৃতীয় ছবি দেখ)।

যদি উত্তপ্ত জলে বরফ ভাসান হয় তবে সমগ্র জলের তাপমাত্রা বরফ গলিবার ফলে হ্রাস পাইবে। যদিও বরফ গলা জল এবং অপসারিত জলের আয়তন সমান তথাপি উচ্চ তাপমাত্রা (4°C অপেক্ষা অনেক বেশী) হইতে নিম্ন তাপমাত্রায় আসিবার ফলে জলের আয়তনের সংকোচন হইবে এবং জলের তল খানিকটা নামিয়া আসিবে (চতুর্থ ছবি দেখ)।

গ্যাসের প্রসারণ

4-13. সূচনা ঃ

তাপ প্রয়োগে কঠিন ও তরল পদার্থের ন্যায় গ্যাসেরও প্রসারণ হয়। গ্যাসের নিজস্ব কোন আকার না থাকায় ইহার দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্র প্রসারণ সম্ভব নহে। তাপ প্রয়োগে গ্যাসের প্রসারণ কঠিন বা তরল পদার্থের প্রসারণ অপেক্ষা অনেক বেশী, তাছাড়া সমান তাপ প্রয়োগে সব গ্যাসের আয়তন প্রসারণ সমান হয়। কঠিন বা তরল পদার্থের তাহা হয় না। নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা গ্যাসের প্রসারণের উপরোক্ত বৈশিষ্ট্য প্রদর্শন করানো যায়।

গ্যাসের প্রসারণ দেখাইবার ব্যবস্থা

চিত্র 4ছ

পরীক্ষা ঃ

একটি পাতলা কাচের ফ্লাস্ক লইয়া উহাতে কিছু রঙিন জল ঢাল এবং কর্ক দ্বারা মুখ বন্ধ কর (4ছ নং চিত্র)। কর্কের ছিদ্র দিয়া একটি সরু কাচনল ঢুকাও যাহাতে নলটি ফ্লাস্কের প্রায় তলা পর্যন্ত পৌছায়। জল ছাড়া ফ্লাস্কের বাকী অংশ বায়ুপূর্ণ। এইবার দুই হাত দিয়া ফ্লাস্কটির উপরাংশ আবৃত করিলে দেখা যাইবে যে কাচনল বাহিয়া রঙিন জল উর্ধ্বে উঠিয়াছে। কেন এরূপ হয় ?

হাতের উত্তাপে ফ্লাস্কের উপরাংশে যে-বায়ু আছে তাহার আয়তনের প্রসারণ হইতে চায়। ফলে উহা জলের উপর যে-চাপ প্রয়োগ করে তাহা জলকে কাচনল বাহিয়া খানিকটা উপরে তুলিয়া দেয়।

এইবার পূর্ববর্ণিত ফ্লাস্কের ন্যায় দুইটি ফ্লাস্ক লও এবং উহাদের ভিতর সম আয়তনের রঙিন জল রাখ যাহাতে ফ্লাস্ক দুইটিতে গ্যাস থাকিবার জন্য

সম-আয়তনের জায়গা থাকে। একটি ফ্লাস্কে বায়ু ও দ্বিতীয় ফ্লাস্কে অন্য কোন গ্যাস—ধর, হাইড্রোজেন—রাখা হইল। এইবার ফ্লাস্ক দুইটিকে গরম জলপূর্ণ একটি বড় গামলায় রাখ। দেখিবে যে দুইটি ফ্লাস্কের কাচনলেই রঙিন জল সমান উর্ধ্বে উঠিয়াছে। ইহা প্রমাণ করে যে, **সমান তাপ পাইলে সব গ্যাসের আয়তন প্রসারণ সমান হয়। কঠিন ও তরল পদার্থের বেলায় আয়তন প্রসারণ সমান হয় না।**

নিম্নবর্ণিত কয়েকটি সাধারণ ঘটনা হইতে গ্যাসের প্রসারণশীলতা সম্বন্ধে তোমাদের ধারণা পরিষ্কার হইবে :

(ক) একটি বেলুনে কিছু হাওয়া ভর্তি করিয়া মুখ শক্ত করিয়া আট্‌কাও। এইবার বেলুনটিকে একটু উত্তপ্ত কর। দেখিবে বেলুনটি ফুলিয়া উঠিয়াছে। ইহার কারণ বায়ুর প্রসারণশীলতা। বেলুনের ভিতরকার বায়ু উত্তপ্ত হইয়া আয়তনে প্রসারিত হয় এবং বেলুনের উপর বহির্মুখী চাপ দেয়। তখন বেলুন ফুলিয়া ওঠে। বেলুনটিকে এইবার ঠাণ্ডা কর। দেখিবে বেলুনটি ঠাণ্ডা হইয়া যখন পূর্বের তাপমাত্রা পাইবে তখন উহা খানিকটা চুপসাইয়া গিয়াছে।

(খ) একটি কাচের বোতলের মুখ কর্ক দিয়া আটকাইয়া উনানের পাশে রাখ। কিছুক্ষণ পরে দেখিবে যে জোর শব্দ করিয়া কর্ক বোতলের মুখ হইতে ছিট্‌কাইয়া বাহির হইয়া গিয়াছে। কেন এরূপ হইল জান কি? উনানের উত্তাপে বোতলের ভিতরকার বায়ু আয়তনে প্রসারিত হইতে চায় কিন্তু কাচের দেওয়াল এই প্রসারণকে বাধা দেয়। ফলে বায়ুর চাপ খুব বাড়িয়া যায়। এই বর্ধিত বায়ুর চাপ কর্ককে সজোরে ঠেলিয়া বাহির করিয়া দেয়।

(গ) দুধ উথলাইয়া উঠিবার কথা তোমরা জান। আধ কড়া দুধ জ্বাল দিলে উথলাইয়া কড়া ভর্তি করিয়া ফেলে। কেন এইরূপ হয়? দুধের ভিতর কিছু বায়ু সর্বদা দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। উত্তাপ পাইয়া এই বায়ু প্রসারিত হয়। তাই দুধ উথলাইয়া উঠে।

4-14. গ্যাসের প্রসারণের উপর চাপ ও তাপমাত্রার প্রভাব : গ্যাসের সূত্র (Gas Laws) :

গ্যাসের প্রসারণের বৈশিষ্ট্য এই যে চাপ ও তাপমাত্রার সামান্য প্রভেদে গ্যাসের প্রসারণের যথেষ্ট তারতম্য দেখা যায়। চাপ প্রয়োগে বা হ্রাসে কঠিন বা তরল পদার্থের সংকোচন বা প্রসারণ এত কম যে তাহা সম্পূর্ণ অগ্রাহ্য করা যায়। কিন্তু তাপমাত্রা স্থির রাখিলেও চাপের সামান্য প্রভেদে কিছু পরিমাণ

গ্যাসের আয়তনের যথেষ্ট পরিবর্তন দেখা যায়। আবার চাপ স্থির রাখিয়া তাপমাত্রা সামান্য পরিবর্তন করিলে উক্ত গ্যাসের আয়তন যথেষ্ট পরিবর্তিত হইবে। সুতরাং গ্যাসের আয়তন প্রসারণ বিবেচনা করিতে হইলে চাপ ও তাপমাত্রা উভয়েরই কথা চিন্তা করিতে হইবে। চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তনের সহিত গ্যাসের আয়তন পরিবর্তনের সূত্রগুলিকে **গ্যাসের সূত্র** বলা হয়। নিম্নে এই সূত্রগুলির আলোচনা করা হইল।

(ক) **বয়েলের সূত্র** (Boyle's Law) :

তাপমাত্রা স্থির রাখিয়া কিছু পরিমাণ গ্যাসের উপর চাপ বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে ঐ গ্যাসের আয়তন চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতে (inversely) পরিবর্তিত হইবে।

অর্থাৎ, কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন যদি V হয় এবং উহার উপর চাপ P হয়, তবে উপরোক্ত সূত্রানুযায়ী

$$V \propto \frac{1}{P}$$ যদি গ্যাসের তাপমাত্রা পরিবর্তিত না হয়।

অথবা, $VP =$ ধ্রুবক।

কাজেই, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যদি পরিবর্তিত হইয়া V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি এবং উহাদের চাপ যথাক্রমে P_1, P_2, P_3 হয়, তবে

$V_1P_1 = V_2P_2 = V_3P_3$ ইত্যাদি।

(খ) **চার্লসের সূত্র** (Charles' Law) :

চাপ স্থির থাকিলে কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য উক্ত গ্যাসের 0°C তাপমাত্রায় যে আয়তন হয় তাহার একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশে ($\frac{1}{273}$) বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

ধরা যাউক, 0°C তাপমাত্রায় কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন V_0, সুতরাং, চার্লসের সূত্রানুযায়ী,

1°C তাপমাত্রায় আয়তন $= V_0 + V_0 \cdot \frac{1}{273}$

2°C " " $= V_0 + V_0 \cdot \frac{2}{273}$

t°C " " $= V_0 + V_0 \cdot \frac{t}{273}$

t°C তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তনকে V ধরা হইলে, $V = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$

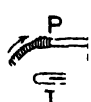
তেমনি যদি তাপমাত্রা বৃদ্ধি না করিয়া হ্রাস করা যায়, তবে t°C তাপমাত্রা হ্রাসে গ্যাসের আয়তন $V = V_0 \left(1 - \frac{t}{273}\right)$.

4-15. চার্লস্ সূত্রের একটি সহজ পরীক্ষামূলক প্রমাণ (A simple experimental verification of Charles' law) :

ধর, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের 0°C তাপমাত্রায় আয়তন V_0 এবং 100°C তাপমাত্রায় আয়তন V_{100}, চার্লসের সূত্র হইতে আমরা লিখিতে পারি,

$$\frac{V_{100} - V_0}{V \times 100} = \frac{1}{273}$$

আমরা যদি উপরোক্ত সম্পর্ক পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণ করিতে পারি তবে চার্লসের সূত্রেরও পরীক্ষামূলক প্রমাণ হইবে।

A একটি একমুখ বন্ধ সমপ্রস্থচ্ছেদযুক্ত কাচনল—দৈর্ঘ্যে প্রায় আধ মিটার (চিত্র 4 জ)। এই নলের মধ্যে একটু পারদ (C) ঢুকানো আছে। ইহা সূচকের কাজ করিবে। পারদ সূচক হইতে কাচনলের বন্ধ মুখ পর্যন্ত স্থান বায়ুপূর্ণ। নলটিকে আর একটি মোটা কাচনল (J) দ্বারা আবৃত করা আছে। এই জ্যাকেট-নলের দুই মুখের দুই ছিপি দিয়া একটি আগম নল (P) এবং একটি নির্গমন নল (Q) লাগানো আছে। তাছাড়া, একটি থার্মোমিটারও (T) জ্যাকেট-নলের মধ্যে ঢুকানো আছে। সরু কাচ-নলটিকে জ্যাকেট-নলের মধ্যে প্রবেশ করাইয়া একটি অবলম্বনের সাহায্যে অনুভূমিক অবস্থায় রাখা আছে যাহাতে সরু নলের খোলামুখ জ্যাকেট নলের বাহিরে থাকে।

P J C' A T Q

চিত্র 4জ

এখন, আগম-নল (P) দিয়া জ্যাকেটের ভিতর বরফ জল প্রবেশ করাইতে হইবে। ঐ জল নির্গমন নল (Q) দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। বরফ জলের সংস্পর্শে A নলের বায়ুর তাপমাত্রা থার্মোমিটার T হইতে পাওয়া যাইবে। তাপমাত্রা কমার সময় A নলের বায়ুর আয়তন হ্রাস পাইবে এবং সূচক C একটু একটু করিয়া বাঁদিকে সরিয়া যাইবে। যখন তাপমাত্রা 0°C হইবে তখন সূচক C একস্থানে স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। একটি স্কেলের সাহায্যে A নলের বন্ধমুখ হইতে সূচক যেখানে স্থির হইয়া দাঁড়াইয়া আছে সেই পর্যন্ত দূরত্ব মাপ। এখন জ্যাকেটের জল সম্পূর্ণ বাহির করিয়া জ্যাকেটের ভিতর স্টীম পাঠাইতে হইবে। ইহাতে A নলের বায়ুর তাপমাত্রা বাড়িবে এবং বায়ুর আয়তনের প্রসারণ

হইবে। তখন সূচক C একটু একটু করিয়া ডানদিকে সরিয়া যাইবে। যখন তাপমাত্রা বাড়িয়া 100°C হইবে তখন সূচক এক জায়গায় (ধর, C′ অবস্থানে) স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। বদ্ধ মুখ হইতে C′ পর্যন্ত দূরত্ব স্কেল দ্বারা মাপ। A নলের খোলামুখ বায়ুমণ্ডলে উন্মুক্ত বলিয়া নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুচাপ সর্বদা বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান থাকিবে। অর্থাৎ এস্থলে চাপ স্থির রাখা হইল।

ধর, 0°C তাপমাত্রায় A নলের বায়ু অধিকৃত স্থানের দৈর্ঘ্য $=l_0$ cm এবং 100°C তাপমাত্রায় দৈর্ঘ্য $=l_{100}$ cm. এক্ষেত্রে A নলের প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সমান হওয়ায় ঐ দুই অবস্থায় বায়ুর আয়তন দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক ধরা যাইতে পারে। অর্থাৎ,

$$\frac{V_{100}-V_0}{V_0\times 100}=\frac{l_{100}-l_0}{l_0\times 100}$$

এখন, l_0, l_{100} আমাদের জানা আছে। উহাদের মান বসাইলে দেখা যাইবে যে উপরোক্ত অনুপাত $\frac{1}{273}$ হইতেছে। ইহা চার্লস' সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে।

4·16. তাপমাত্রার চরম স্কেল (Absolute scale of temperature):

চার্লসের সূত্র হইতে দেখা গেল, t°C তাপমাত্রা হ্রাসে কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন $V=V_0(1-\frac{t}{273})$.

যদি তাপমাত্রা 273°C হ্রাস করা যায় অর্থাৎ −273°C তাপমাত্রায় উক্ত আয়তন $V=V_0(1-\frac{273}{273})=0$.

অর্থাৎ, উক্ত তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন শূন্য হইবে। ইহা অপেক্ষা কম তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন ঋণাত্মক হইবে। কিন্তু ঋণাত্মক আয়তনের কোন অর্থ নাই। ইহা একটি অবাস্তব ব্যাপার। ইহা শুধু গণিতের নিয়মেই (mathematically) সম্ভব। কিন্তু ইহা দ্বারা একটি নতুন তাপমাত্রামাপক স্কেল উদ্ভাবিত হইয়াছে। ইহাকেই বলা হয় **তাপমাত্রার চরম স্কেল**। ইহার শূন্য দাগ −273°C, কারণ ইহা অপেক্ষা কম তাপমাত্রা আমরা কল্পনা করিতে পারি না। সুতরাং হিমাঙ্ক অর্থাৎ 0°C এই স্কেল অনুযায়ী 273°A এবং স্ফুটনাঙ্ক অর্থাৎ 100°C হইবে 373°A.

[**দ্রষ্টব্য ঃ সেণ্টিগ্রেড বা ফারেনহাইট স্কেলে 0° নির্বাচনের পিছনে কোন যুক্তি নাই। উহা খেয়ালমত করা হইয়াছে। কিন্তু চরম স্কেলের 0° নির্বাচনের পিছনে বিজ্ঞান-সম্মত কারণ আছে। সকল গ্যাসই ঐ তাপমাত্রায় শূন্য আয়তনযুক্ত হইবে এবং উহা অপেক্ষা নিম্নতর কোন তাপমাত্রা কল্পনাতীত বলিয়া উহাকেই 0° ডিগ্রী ধরা যুক্তিযুক্ত। তাছাড়া এই স্কেল গ্যাস-নিরপেক্ষ বলিয়া ইহাকে চরম স্কেল বলাও সঙ্গত।**]

যদি সেন্টিগ্রেড স্কেলে কোন তাপমাত্রা t°C হয় তবে চরম স্কেলে উহাকে T ধরা হইলে, $T=273+t$

আমরা চার্লসের সূত্র হইতে জানি যে

$$V=V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)=V_0\left(\frac{273+t}{273}\right)=\frac{V_0T}{273}=\frac{V_0T}{T_0}$$

$$\text{or,}\quad \frac{V}{T}=\frac{V_0}{T_0}$$

অথবা, $V\propto T$

অর্থাৎ, **স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন উহার চরম তাপমাত্রার** (absolute temperature) **সমানুপাতিক হয়।** চার্লসের সূত্রকে এই ভাবেও বলা যাইতে পারে।

4-17. চার্লস ও বয়েলের সূত্রদ্বয়ের সমন্বয় (Combination of Charles' and Boyle's law) :

ধর, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন, তাপমাত্রা ও চাপ যথাক্রমে V_1, T_1, এবং P_1.

(i) এখন, চাপ স্থির রাখিয়া, ধর, গ্যাসের তাপমাত্রা T_2 করা হইল যাহাতে গ্যাসের আয়তন দাঁড়াইল V', চার্লস্ সূত্র হইতে লেখা যাইবে,

$$\frac{V'}{T_2}=\frac{V_1}{T_1}\quad \text{অথবা,}\quad V'=V_1\frac{T_2}{T_1}$$

(ii) এইবার তাপমাত্রা T_2 স্থির রাখিয়া চাপ পরিবর্তিত করিয়া P_2 করা হইল যাহাতে আয়তন V' পরিবর্তিত হইয়া দাঁড়াইল V_2, এক্ষেত্রে বয়েলের সূত্র হইতে আমরা লিখিতে পারি, $P_2V_2=P_1V'=\frac{P_1V_1.T_2}{T_1}$

$$\text{or,}\quad \frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$$

কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন, চাপ ও তাপমাত্রা উপরোক্ত সমীকরণ দ্বারা যুক্ত।

[**মন্তব্য :** সাধারণভাবে কোন গ্যাসই সকল তাপমাত্রায় বয়েল বা চার্লসের সূত্র যথাযথ মানিয়া চলে না। **এই সম্পর্কে একটি আদর্শ গ্যাসের** (ideal or perfect gas) কল্পনা করা হইয়াছে। যে গ্যাস সকল তাপমাত্রাতেই উপরোক্ত দুই সূত্র অর্থাৎ গ্যাসের সূত্র পুরাপুরি মানিয়া চলিবে উহাকেই আদর্শ গ্যাস বলা হয়। মনে রাখিতে হইবে যে আদর্শ গ্যাস নিছক কল্পনা মাত্র।]

উদাহরণ :

(1) 20°C তাপমাত্রায় এবং 760 mm. পারদের চাপে কিছু পরিমাণ বায়ুর আয়তন 1000 cc., কত তাপমাত্রায় এবং 750 mm. পারদের চাপে ঐ বায়ুব আয়তন 1400 c.c. হইবে ?

[A quantity of air occupies 1000 c.c. at 20°C and 760 mm. pressure. At what temperature will it occupy 1400 c.c. at 750 mm. pressure ?]

উ। এস্থলে $V_1 = 1000$ c.c. $\qquad V_2 = 1400$ cc.

$P_1 = 760$ mm. $\qquad P_2 = 750$ mm.

$T_1 = (20+273)^0 A \qquad T_2 = ?$

আমরা জানি $\dfrac{V_1 P_1}{T_1} = \dfrac{V_2 P_2}{T_2}$

অথবা, $\dfrac{1000 \times 760}{273+20} = \dfrac{1400 \times 750}{T_2}$

অথবা, $T_2 = \dfrac{1400 \times 750 \times 293}{1000 \times 760} = 404{\cdot}8°A$

সুতরাং, সেন্টিগ্রেড স্কেলে $t_2 = 404{\cdot}8 - 273$

$= 131{\cdot}8°C$

(2) 10°C তাপমাত্রায় 1 litre গ্যাসে তাপপ্রয়োগ করিয়া উহার চাপ ও আয়তন দ্বিগুণ করা হইল। তখনকার তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

[The volume and pressure of 1 litre of a gas at 10°C are doubled by applying heat. Calculate the consequent temperature.]

উ। ধরা যাউক, প্রথমে গ্যাসের চাপ = P ; উহার আয়তন = 1 litre ও তাপমাত্রা = 10 + 273 = 283°A

পরে গ্যাসের চাপ = 2P এবং আয়তন = 2 litres ; T_2 = ?

আমরা জানি $\frac{V_1P_1}{T_1} = \frac{V_2P_2}{T_2}$

এক্ষেত্রে $\frac{1 \times P}{283} \quad \frac{2 \times 2P}{T_2}$

অথবা, $T_2 = 4 \times 283 = 1132°A$

সুতরাং, সেণ্টিগ্রেড স্কেলে $t = 1132 - 273 = 859°C$

(3) 18°C তাপমাত্রায় 100 litres অক্সিজেন গ্যাস একটি চোঙে প্রবেশ করানো হইল। চোঙটির আভ্যন্তরীণ আয়তন 10 litres হইলে চোঙের ভিতরকার গ্যাসের চাপ কত হইবে ?

যদি চোঙটি সর্বোচ্চ চাপ 200 lb per sq. inch সহ্য করিতে সক্ষম হয় তাহা হইলে কত তাপমাত্রা পর্যন্ত উহাকে উত্তপ্ত করা যাইতে পারে যাহাতে চোঙটি না ফাটে ? বায়ুমণ্ডলের চাপ = 15 lbs per sq. inch.

[100 litres of Oxygen at atmospheric pressure and at 18°C are compressed into a cylinder whose internal capacity is 10 litres. What will be the pressure inside the cylinder ?

The cylinder is guaranteed to withstand a pressure of 200 lbs. per sq. inch. At what temperature would there be a danger of bursting ? Atmospheric pressure = 15 lbs per sq. inch.]

উ। প্রথম ক্ষেত্রে তাপমাত্রা স্থির থাকায় আমরা লিখিতে পারি, (বয়েলের সূত্রানুযায়ী) $P_1V_1 = P_2V_2$

এস্থলে

$P_1 = 15$ lbs/sq. inch ; $V_1 = 100$ litres ; $V_2 = 10$ litres ; P_2 = ?

কাজেই, $15 \times 100 = P_2 \times 10$

$\therefore \quad P_2 = 150$ lbs/sq. inch.

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, আয়তন স্থির থাকায়, আমরা লিখিতে পারি,

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P'}{T'}$$

এস্থলে, $P_2 = 150$ lbs/sq. inch ; $T_2 = 273 + 18 = 291°$;
$P' = 200$ lbs/sq. inch ; $T' = ?$

কাজেই, $$\frac{150}{291} = \frac{200}{T'}$$

or, $$T' = \frac{291 \times 4}{3} = 388°$$

অতএব, সেন্টিগ্রেড স্কেলে নির্ণেয় তাপমাত্রা $= 388 - 273 = 115°C$.

(4) জল অপসারণ পদ্ধতিতে একটি 100 c.c. নলে গ্যাস সংগ্রহ করিয়া গ্যাসের আয়তন 72·8 c.c. পাওয়া গেল। ঐ সময়ের তাপমাত্রা ছিল 25°C এবং বায়ু-চাপ ছিল 74·39 cm. পারদস্তম্ভ। স্বাভাবিক চাপে ও তাপমাত্রায় শুষ্ক গ্যাসের আয়তন কত হইবে নির্ণয় কর। 25°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ 23·45 mm. পারদস্তম্ভ।

[A gas is collected over water in 100 c.c. tube and measures 72·8 c.c., the temperature and pressure of the atmosphere at the time are 25°C and 74·39 cm. of mercury respectively. Calculate the volume of dry gas at N. T. P. The vapour pressure of water at 25°C is 23·45 mm. of mercury.]

উঃ। জলের উপর গ্যাস সংগ্রহ করা হইয়াছে বলিয়া নলে শুষ্ক গ্যাস ও জলীয় বাষ্প থাকিবে।

অতএব, শুধু গ্যাসের চাপ = বায়ু চাপ − জলীয় বাষ্পের চাপ।
$= (74·39 - 2·345) = 72·045$ cm. of mercury.

এখন, $P_1 = 72·045$ cm. $\quad P_2 = 76$ cm.

$V_1 = 72·8$ cc. $\quad V_2 = ?$

$T_1 = 25 + 273 = 298°A \quad T_2 = 273°A$

আমরা জানি, $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

or, $$\frac{72·045 \times 72·8}{298} = \frac{76 \times V_2}{273}$$

$$V_2 = \frac{72·045 \times 72·8 \times 273}{298 \times 76} = 64·42 \text{ cc.}$$

4-18. আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ (The ideal gas equation) :

চার্লস ও বয়েলের সূত্রদ্বয়ের সমন্বয় করিয়া আমরা পূর্বোক্ত অনুচ্ছেদে (4-17) দেখিয়াছি যে কোন আদর্শ গ্যাসের বেলাতে $\frac{PV}{T}$ = ধ্রুবক।

ঐ ধ্রুবক-কে 'R' ধরিলে আমরা লিখিতে পারি,

$$PV = RT$$

কোন আদর্শ গ্যাসের চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার উপরোক্ত সমীকরণকে বলা হয় **আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ**।

আদর্শ গ্যাসের সমীকরণে ধ্রুবক 'R' যথেষ্ট গুরুত্বপূর্ণ। যদি এক গ্রাম-অণু (gramme-molecule) গ্যাসের কথা চিন্তা করা হয় তবে ঐ ধ্রুবক-কে বলা হয় **সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক** (universal gas constant) এবং যে-কোন গ্যাসের বেলাতে উহার মান সমান।

কিন্তু যদি 'n' গ্রাম-অণু গ্যাসের কথা বিবেচনা করা হয় তবে উপরোক্ত গ্যাস সমীকরণকে নিম্নলিখিত ভাবে লেখা যাইবে,

$$PV = nRT$$
$$= KT \qquad [K = nR]$$

এক্ষেত্রে 'K'-এর মান গ্যাসের ভরের উপর নির্ভর করিবে।

4-19. সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবকের মান (Magnitude of universal gas constant) :

এক গ্রাম-অণু গ্যাস লইলে, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ PV = RT যে-কোন তাপমাত্রা ও চাপে যে-কোন আদর্শ গ্যাসের বেলাতেই প্রযোজ্য হইবে।

অর্থাৎ, $R = \frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0}$

এখানে, V_0 = স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় এক গ্র্যাম-অণুর আয়তন

$= 22.4$ litres

$= 22400$ c.c.

P_0 = স্বাভাবিক চাপ (76 cm. পারদের চাপ)

$= 76 \times 13.59 \times 981 = 1.013 \times 10^6$ dynes/sq. cm.

T_0 = স্বাভাবিক তাপমাত্রা (অর্থাৎ 0°C)

$= (0 + 273) = 273°A.$,

কাজেই, $R = \frac{1.013 \times 10^6 \times 22400}{273} = 8.31 \times 10^7$ ergs/°C.

4-20. গ্যাসের চাপ, তাপমাত্রা ও ঘনত্বের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between the pressure, temperature and density of a gas) :

ধর, কিছু পরিমাণ গ্যাসের ভর 'm' এবং T_1 তাপমাত্রায় উহার আয়তন ও ঘনত্ব যথাক্রমে V_1 এবং D_1 ; যদি তাপমাত্রা পরিবর্তিত হইয়া T_2 হয় তবে উহার আয়তন ও ঘনত্ব উভয়ই পরিবর্তিত হইবে ; কিন্তু ভর ঠিক থাকিবে।

মনে কর পরিবর্তিত আয়তন ও ঘনত্ব যথাক্রমে V_2 এবং D_2.

$$\text{অতএব} \quad V_1D_1 = m = V_2D_2$$

$$\text{or,} \quad V_1 = \frac{m}{D_1} \text{ এবং } V_2 = \frac{m}{D_2}$$

যদি ঐ দুই তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ যথাক্রমে P_1 এবং P_2 হয়, তবে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ হইতে আমরা জানি,

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\text{অথবা} \quad \frac{P_1m}{D_1T_1} = \frac{P_2m}{D_2T_2}$$

$$\text{,,} \quad \frac{P_1}{D_1T_1} = \frac{P_2}{D_2T_2}$$

$$\text{অর্থাৎ,} \quad \frac{P}{DT} = \text{ধ্রুবক।}$$

উদাহরণ : স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপে 1 litre শুষ্ক বায়ুর ওজন 1·293 gms , 3 বায়ুমণ্ডল চাপে এবং 100°C তাপমাত্রায় 3 litres শুষ্ক বায়ুর ওজন কত হইবে ?

[A litre of dry air .. N. T. P. weighs 1·293 gms. What would be the weight of 3 litres at 100°C and a pressure of 3 atmospheres ?]

উ। স্বাভাবিক তাপমাত্রা এবং চাপে শুষ্ক বায়ুর ঘনত্ব (D_1 ধর)

$= 1·293$ gms/litre

100°C তাপমাত্রায় এবং 3 বায়ুমণ্ডল চাপে উহার ঘনত্ব $= D_2$ (ধর)

এখানে, $P_1 = 1$ atmosphere, $T_1 = 273°A$, $D_1 = 1·293$ gms/litre

এবং $P_2 = 3$ atmospheres, $T_2 = 273° + 100° = 373°A$. $D_2 = ?$

আমরা জানি, $\frac{P_1}{D_1T_1} = \frac{P_2}{D_2T_2}$

অথবা, $D_2 = \frac{P_2D_1T_1}{P_1T_2} = \frac{3 \times 1{\cdot}293 \times 273}{1 \times 373}$
$= 2{\cdot}84$ gms/litre

∴ 3 litres শুষ্ক বায়ুর ওজন $= 3 \times 2{\cdot}84$ gms $= 8{\cdot}52$ gms.

4-21. গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of expansion of gases) **:**

কঠিন ও তরল পদার্থ অপেক্ষা গ্যাসের প্রসারণশীলতা (expansibility) বা সংনমনশীলতা (compressibility) অনেক বেশী তাহা পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে। ফলে, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে ব্যবস্থা অনুযায়ী উহার আয়তনের বৃদ্ধি বা হ্রাস হইতে পারে কিংবা চাপের বৃদ্ধি বা হ্রাস হইতে পারে। এই কারণে গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক দুইটি ধরা হয়। (1) চাপ স্থির রাখিয়া তাপমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধিতে আয়তনের যে হ্রাস-বৃদ্ধি হয় তাহার দরুন একটি গুণাঙ্ক যাহাকে বলা হয় **আয়তন গুণাঙ্ক** (volume co-efficient) এবং (2) আয়তন স্থির রাখিয়া তাপমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধিতে চাপের যে হ্রাস-বৃদ্ধি হয় তাহার দরুন একটি গুণাঙ্ক যাহাকে বলা হয় **চাপ গুণাঙ্ক** (pressure co-efficient)।

(1) **আয়তন গুণাঙ্ক** [Volume co-efficient (γ_v)] **:** চাপ স্থির রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C হইতে 1°C বৃদ্ধি করিলে উহার প্রতি একক আয়তনে যে আয়তন বৃদ্ধি হইবে উহাকে উক্ত গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক বলা হয়। এই গুণাঙ্ক সব গ্যাসের বেলাতেই সমান।

মনে কর, 0°C এবং t°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে V_0 এবং V_t.

এক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধি $= t - 0 = t$°C এবং আয়তন বৃদ্ধি $= V_t - V_0$

সুতরাং 1°C তাপমাত্রাবৃদ্ধির জন্য আয়তন বৃদ্ধি $= \frac{V_t - V_0}{t}$ এবং

প্রতি একক আয়তনে আয়তন বৃদ্ধি $= \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$

∴ আয়তন গুণাঙ্ক $(\gamma_v) = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$

(2) **চাপ গুণাঙ্ক** [Pressure co-efficient (γ_v)] **:** আয়তন স্থির রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C হইতে 1°C বৃদ্ধি করিলে উহার প্রতি একক চাপে যে চাপবৃদ্ধি হইবে উহাকেই উক্ত গ্যাসের চাপ গুণাঙ্ক বলা হয়। এই গুণাঙ্কও সব গ্যাসের বেলাতে সমান।

পূর্বের মত, মনে কর, 0°C এবং t°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ যথাক্রমে P_o এবং P_t.

এক্ষেত্রে তাপমাত্রাবৃদ্ধি $= t - 0 = t$°C এবং চাপবৃদ্ধি $= P_t - P_0$

সুতরাং 1°C তাপমাত্রাবৃদ্ধির জন্য চাপবৃদ্ধি $= \dfrac{P_t - P_0}{t}$

এবং প্রতি একক চাপে চাপবৃদ্ধি $= \dfrac{P_t - P_o}{P_o t}$

$\therefore$ চাপ গুণাঙ্ক $(\gamma_v) = \dfrac{P_t - P_o}{P_o t}$

4-22. গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক নির্ণয়ে প্রাথমিক আয়তন সর্বদা 0°C তাপমাত্রায় লইবার কারণ (Reason for taking initial volume at 0°C in calculating the volume co-efficient of a gas) **:**

গ্যাসের ক্ষেত্রে আয়তন গুণাঙ্ক অথবা আয়তন প্রসারণ নির্ণয়ে প্রাথমিক আয়তন সর্বদা 0°C-এর আয়তনকে লওয়া হয়। লক্ষ্য করিয়া থাকিবে যে তরল বা কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে প্রাথমিক আয়তন যে-কোন তাপমাত্রার আয়তনকে লওয়া হইয়াছে। ইহার কারণ এই যে কঠিন বা তরলের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের মান খুব কম বলিয়া ঐরূপ করা চলে কিন্তু গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক ($\frac{1}{273}$) যথেষ্ট বেশী হওয়ায় ঐরূপ করা চলে না, উহাতে অনেক ভুল হইবে। যেমন, কোন তরল বা কঠিন পদার্থের আয়তন t_1°C এবং t_2°C তাপমাত্রায় V_1 এবং V_2 হইলে আমরা অনায়াসে লিখিতে পারি $V_2 = V_1 \{1 + \gamma(t_2 - t_1)\}$ [γ = তরল বা কঠিনের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক] কিন্তু গ্যাসের বেলাতে আমরা ঐরূপ সরাসরি লিখিতে পারি না, সেক্ষেত্রে আমাদের লিখিতে হইবে $V_1 = V_o\{1 + \gamma t_1\}$ এবং $V_2 = V_o\{1 + \gamma t_2\}$ [γ = গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক]।

একটি উদাহরণ দিতেছি। ধর, কোন গ্যাসের আয়তন 0°C তাপমাত্রায় 273 c.c., তাহা হইলে 100°C এবং 120°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন নিয়মানুযায়ী হিসাব করিলে দাঁড়াইবে,

$$V_{100} = V_0\left(1 + \frac{1}{273} \times 100\right) = 273\left(1 + \frac{100}{273}\right) = 373 \text{ c.c.}$$

এবং $$V_{120} = V_0\left(1 + \frac{120}{273}\right) = 273\left(1 + \frac{120}{273}\right) = 393 \text{ c.c.}$$

এখন, V_{100} আয়তনকে প্রাথমিক আয়তন ধরিয়া V_{120} নির্ণয় করিবার চেষ্টা করিলে কি ফল পাওয়া যায় দেখা যাউক। এই নিয়মে,

$$V_{120} = V_{100}\left\{1 + \frac{1}{273}(120 - 100)\right\}$$
$$= 373\left\{1 + \frac{20}{273}\right\}$$
$$= 400{\cdot}3 \text{ c.c.}$$

দেখা যাইতেছে যে এই পদ্ধতিতে যে আয়তন হইল তাহা চার্লস-এর সূত্র অনুযায়ী নির্ণীত আয়তন (393 c.c.) অপেক্ষা অনেক বেশী। সুতরাং এই পদ্ধতি ত্রুটিপূর্ণ। সুতরাং মনে রাখিবে যে **গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রাথমিক আয়তন সর্বদা 0°C-এ লইতে হইবে।**

4-23. গ্যাসের দুই প্রসারণ গুণাঙ্কের সম্পর্ক :

মনে কর, চাপ স্থির রাখিয়া কিছু পরিমাণ গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C হইতে t°C বৃদ্ধি করিলে উহার আয়তন V_0 হইতে V_t হয়। আমরা আয়তন গুণাঙ্ক হইতে লিখিতে পারি,

$$\gamma_p = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$$

অথবা, $$V_t = V_0 + V_0 \gamma_p t$$
$$= V_0(1 + \gamma_p t) \qquad \dots (i)$$

এখন মনে কর, তাপমাত্রা t°C-এ স্থির রাখিয়া গ্যাসের চাপ P_0 হইতে বাড়াইতে বাড়াইতে এমন (ধর, P_t) করা হইল যে গ্যাসের আয়তন V_t হইতে কমিতে কমিতে পূর্বের V_0 আয়তন হইল। এক্ষেত্রে তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকায় বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করিয়া লেখা যাইতে পারে যে,

$$P_t V_0 = P_0 V_t \qquad \dots (ii)$$

সুতরাং (i) এবং (ii) সমীকরণদ্বয়ের সমন্বয় করিয়া আমরা পাই,

$$P_t V_0 = P_0 V_0(1 + \gamma_p t)$$

অথবা, $$P_t = P_0(1 + \gamma_p t) \qquad \dots (iii)$$

কিন্তু যদি মনে করা যায় যে গ্যাসের আয়তন V_0 স্থির রাখিয়া উহার

তাপমাত্রা 0°C হইতে t°C বৃদ্ধি করা হইল তবে চাপ গুণাঙ্ক হইতে আমরা পাই,

$$\gamma_v = \frac{P_t - P_0}{P_0 t}$$

অথবা, $P_t = P_0 + P_0 \gamma_v t$

$$= P_0(1+\gamma_v t) \qquad \cdots\cdots(iv)$$

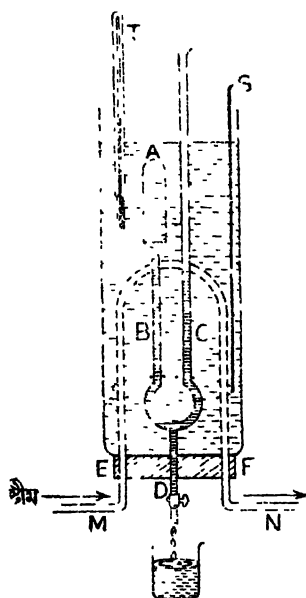
(iii) এবং (iv) নং সমীকরণদ্বয় সমন্বয় করিলে লেখা যায়

$$\gamma_p = \gamma_v$$

অর্থাৎ, যে-কোন গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক ও চাপ গুণাঙ্ক সমান। প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে, এই গুণাঙ্কের মান $\frac{1}{273}$ অথবা ·00366 (চার্লসের সূত্র দ্রষ্টব্য)।

4-24. গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্কদ্বয়ের পরীক্ষামূলক নির্ণয় (Experimental determination of the two co-efficients of expansion of gas):

রেনোর স্থির-চাপ থার্মোমিটার

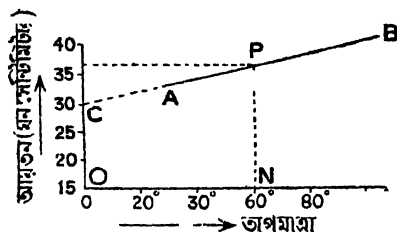
চিত্র 4ঝ

গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক (γ_p) নির্ণয়ের জন্য রেনোর স্থির-চাপ থার্মোমিটার এবং চাপ গুণাঙ্কের (γ_v) জন্য জলির স্থির-আয়তন থার্মোমিটার প্রয়োজন। নিম্নে এই দুইটি থার্মোমিটারের বিবরণ ও গুণাঙ্ক নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা করা হইল।

(ক) রেনোর স্থির-চাপ থার্মোমিটার ও আয়তন গুণাঙ্ক নির্ণয় (Regnault's constant pressure thermometer and determination of volume co-efficient):

যন্ত্রের বিবরণ: 4ঝ নং চিত্রে স্থির-চাপ থার্মোমিটারের নক্সা দেখানো হইল। BC, অনেকটা U-অক্ষরের ন্যায় বাঁকানো একটি কাচনল। ঐ নলের একমুখ খোলা এবং অপর মুখে একটি বালব A যুক্ত। বাল্বটি বায়ুপূর্ণ এবং উহার গায়ে আয়তন সূচক দাগ কাটা

আছে। বাল্বের কিছু অংশে এবং BC নলে সালফিউরিক অ্যাসিড রাখা আছে। BC নলের ঠিক নীচু হইতে ছিপিযুক্ত একটি সরু নল D লাগানো আছে। বাল্বযুক্ত BC নলটিকে ঘিরিয়া একটি জলপূর্ণ মোটা কাচের চোঙ থাকে এবং উহার তলার মুখ একটি রবার-কর্ক EF দ্বারা বন্ধ। কর্কের মাঝখানের একটি ছিদ্র হইতে D নলটি বাহির হইয়া আসিয়াছে এবং পাশের দুইটি ছিদ্র দিয়া একটি বাঁকানো তামার নল MN ঢুকান আছে। এই নলের সাহায্যে চোঙের ভিতরে স্টীম পাঠানো হয়। তাহাতে চোঙের জল উত্তপ্ত হয়। জলকে নাড়িবার জন্য একটি আলোড়ক S এবং A বাল্বের বায়ুর তাপমাত্রা মাপিবার জন্য বাল্বের নিকটে একটি থার্মোমিটার T রাখিবার বন্দোবস্ত আছে। D নলের ছিপি খুলিয়া কিছু অ্যাসিড বাহির করিয়া দিয়া অথবা C নলের খোলামুখ দিয়া কিছু অ্যাসিড নলে ঢালিয়া B এবং C বাহুতে অ্যাসিডের লেভেল সমান করিলে A বাল্বের বায়ুচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়।

আয়তন গুণাঙ্ক নির্ণয়ঃ MN নল দিয়া স্টীম পাঠাইবার পূর্বে B ও C বাহুতে অ্যাসিডের লেভেল সমান করিয়া A বাল্বের দাগ হইতে বায়ুর আয়তন নির্ণয় কর এবং T থার্মোমিটার হইতে জলের তাপমাত্রা দেখিয়া রাখ। অতঃপর MN নল দিয়া স্টীম পাঠাও। ইহাতে চোঙের জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে এবং A বাল্বের বায়ুর তাপমাত্রাও জলের তাপমাত্রার সমান হইবে। ফলে, ঐ বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি পাইয়া B নলের অ্যাসিড লেভেলকে চাপ দিয়া নীচে নামাইয়া দিবে। সঙ্গে সঙ্গে C নলে অ্যাসিড লেভেল ঊর্ধ্বে উঠিবে। অর্থাৎ B এবং C নলের অ্যাসিড লেভেলদ্বয়ের উচ্চতার পার্থক্য দেখা দিবে। স্টীম প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করিয়া এবং S আলোড়ক দ্বারা জল সর্বদা নাড়িয়া জলের তাপমাত্রা পূর্বাপেক্ষা 5°C কিংবা 10°C বেশী হইলে জলকে কিছুক্ষণ ঐ তাপমাত্রায় রাখিতে হইবে। ইত্যবসরে D নলের ছিপি খুলিয়া কিছু অ্যাসিড বাহির করিয়া দিয়া পুনরায় B এবং C নলে অ্যাসিড লেভেল সমান করিতে হইবে। ফলে, ঐ বর্ধিত তাপমাত্রায় A বাল্বের বায়ুচাপ পূর্বেকার বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হইবে। ইহাতে বায়ুচাপ স্থির রাখা হইল। এখন A বাল্বের দাগ হইতে এই বায়ুর আয়তন নির্ণয় কর। এইরূপ স্টীম-প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করিয়া ধাপে ধাপে জলের তাপমাত্রা 5°C কিংবা 10°C বৃদ্ধি করিয়া বায়ু-চাপ সমান রাখিতে হইবে এবং প্রতিবার বায়ুর আয়তন কত হয় নির্ণয় করিতে হইবে।

অতঃপর আয়তন-তাপমাত্রার একটি লেখচিত্র আঁকিতে হইবে। তাপমাত্রাকে অনুভূমিক অক্ষ বরাবর এবং আয়তনকে উল্লম্ব অক্ষ বরাবর আঁকিলে লেখচিত্রটি একটি সরল রেখা হইবে। 4এ নং চিত্রে AB ঐ সরল রেখা। সরল রেখাটিকে বর্ধিত করিলে উহা আয়তনের অক্ষকে C বিন্দুতে ছেদ করিবে। OC পূর্বোক্ত বায়ুর 0°C তাপমাত্রায় আয়তন প্রকাশ করে। মনে কর উহা V_0;

চিত্র 4এ

এখন সরল রেখার উপর যে-কোন বিন্দু P লইয়া তাপমাত্রা-অক্ষের উপর PN লম্ব টানিলে ON একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা এবং PN ঐ তাপমাত্রায় পূর্বোক্ত বায়ুর আয়তন প্রকাশ করে। 4এ নং চিত্র হইতে দেখা যাইতেছে যে

$$OC = V_0 = 30 \text{ c.c.}$$

$$ON = t = 60^\circ C$$

এবং $PN = V_t = 36{\cdot}6$ c.c.

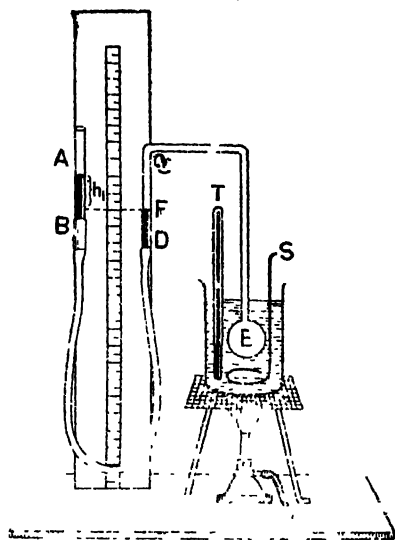
আমরা 4-21 অনুচ্ছেদে দেখিয়াছি,

$$\therefore \gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} = \frac{36{\cdot}6 - 30}{60 \times 30} = \frac{6{\cdot}6}{1800} = \frac{1}{273}$$

[দ্রঃ ইহাকে চার্লস সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ হিসাবে ধরা যায়]

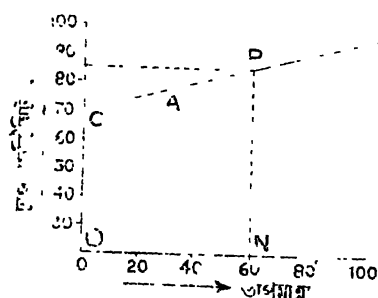
(খ) জলির স্থির-আয়তন থার্মোমিটার ও চাপ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Jolly's constant volume thermometer and determination of pressure co-efficient) :

যন্ত্রের বিবরণ : 4ট নং চিত্রে স্থির-আয়তন থার্মোমিটারের নক্সা দেখানো হইল। ইহাকে জলির যন্ত্র (Jolly's apparatus)-ও বলা হয়। এই যন্ত্রে AB এবং CD দুইটি সরু কাচনল একটি কাঠের ফ্রেমে খাড়াভাবে আটকানো। একটি রবার নল উহাদের পরস্পরকে সংযুক্ত করিয়াছে। AB নলের উপরের মুখ খোলা এবং ঐ নলের কিছু অংশে, সমস্ত রবার নলে এবং CD নলের কিছু অংশে পারদ রাখা

আছে। CD নলের সহিত একটি কাচের কুণ্ড E যুক্ত। ঐ কুণ্ডটি বায়ুপূর্ণ। CD নলে একটি দাগ দেওয়া থাকে। F হইল ঐ দাগ। AB নল উঁচু-নীচু করিয়া CD নলের পারদশীর্ষ সর্বদা F দাগ পর্যন্ত রাখিতে হইবে। ইহাতে E কুণ্ডস্থিত বায়ুর আয়তন সর্বদা স্থির থাকিবে। কুণ্ডটিকে একটি জলপূর্ণ পাত্রে ডুবাইয়া রাখিয়া বার্নারের সাহায্যে জলকে উত্তপ্ত করা হয়। জল নাড়িবার জন্য পাত্রের মধ্যে আলোড়ক S এবং জলের তথা কুণ্ডস্থিত বায়ুর তাপমাত্রা নির্ণয়ের জন্য একটি থার্মোমিটার T দেওয়া থাকে। AB এবং CD নলের পারদস্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতার পার্থক্য নির্ণয় করিবার জন্য উহাদের মাঝখানে একটি স্কেল আটকানো থাকে।

চাপ গুণাঙ্ক নির্ণয় ঃ

জলগাহের (water bath) জলকে উত্তপ্ত করিবার পূর্বে AB নলকে নামাইয়া বা উঠাইয়া CD নলের পারদশীর্ষকে F দাগ পর্যন্ত আন। এখন দুই নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার প্রভেদ স্কেল হইতে নির্ণয় কর। মনে কর, উহা h_1 (১৮ নং চিত্র দেখ)। এই অবস্থায় E কুণ্ডস্থিত বায়ুর চাপ (P_1) = বায়ুমণ্ডলের চাপ + h_1 পারদস্তম্ভের চাপ। যদি বায়ুমণ্ডলের চাপ H পারদস্তম্ভের সমান ধরা হয় তবে এই চাপ $(P_1) = H + h_1$; থার্মোমিটার হইতে জলের অর্থাৎ কুণ্ডস্থিত বায়ুর তাপমাত্রা পাঠ কর। এখন বার্নারের সাহায্যে জল উত্তপ্ত কর এবং আলোড়ক S দ্বারা জল নাড়িতে থাক। জলের তাপমাত্রা পূর্বাপেক্ষা 5°C কিংবা 10°C বেশী হইলে জলকে ঐ তাপমাত্রায় কিছুক্ষণ রাখিতে হইবে। E কুণ্ডের বায়ু উত্তপ্ত হইয়া আয়তনে প্রসারিত হইবে এবং CD নলের পারদস্তম্ভকে চাপ দিয়া নীচে নামাইয়া দিবে। সঙ্গে সঙ্গে AB

নলের পারদস্তম্ভ ঊর্ধ্বে উঠিবে। পুনরায় AB নলকে নামাইয়া বা উঠাইয়া CD নলের পারদশীর্ষকে F দাগে আনিতে হইবে। এই ব্যবস্থার ফলে E কুণ্ডের বায়ুর আয়তন স্থির থাকিবে। এই অবস্থায় দুই নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার প্রভেদ স্কেল হইতে পাঠ করিতে হইবে। যদি ইহা h_2 হয় তবে এই বর্ধিত তাপমাত্রায় E কুণ্ডের বায়ুচাপ $(P_2) = H + h_2$; এইরূপে তাপ নিয়ন্ত্রণ করিয়া কুণ্ডস্থিত বায়ুর তাপমাত্রা ধাপে ধাপে 5°C কিংবা 10°C করিয়া বাড়াইয়া যাইতে হইবে এবং প্রত্যেকবার বায়ুর আয়তন স্থির রাখিয়া চাপ নির্ণয় করিতে হইবে।

অতঃপর চাপ-তাপমাত্রার একটি লেখচিত্র আঁকিতে হইবে। তাপমাত্রাকে অনুভূমিক অক্ষ বরাবর এবং চাপ-কে উল্লম্ব অক্ষ বরাবর আঁকিলে লেখচিত্রটি একটি সরল রেখা হইবে। 4ঠ নং চিত্রে AB ঐ সরল রেখা। সরল রেখাকে বর্ধিত করিলে উহা চাপের অক্ষকে C বিন্দুতে ছেদ করিবে। OC পূর্বোক্ত বায়ুর 0°C তাপমাত্রায় চাপ প্রকাশ করে। মনে কর উহা P_0. এখন সরল রেখার উপর যে কোন বিন্দু P লইয়া তাপমাত্রা

চিত্র 4ঠ

অক্ষের উপর PN লম্ব টানিলে ON একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা এবং PN ঐ তাপমাত্রায় পূর্বোক্ত বায়ুর চাপ প্রকাশ করে। 4ঠ নং চিত্র হইতে দেখা যাইতেছে যে $OC = P_0 = 70$ cm, $ON = t = 60°C$ এবং $PN = P_t = 85{\cdot}4$ cm.

আমরা 4-21 অনুচ্ছেদে দেখিয়াছি

$$\gamma_v = \frac{P_t - P_0}{P_0 t} = \frac{85{\cdot}4 - 70}{70 \times 60} = \frac{15{\cdot}4}{4200} = \frac{1}{273}$$

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে আয়তন গুণাঙ্ক ও চাপ গুণাঙ্ক জানা থাকিলে এই দুই থার্মোমিটারের যে-কোনটির সাহায্যে অজ্ঞাত তাপমাত্রা নির্ণয় করা যাইতে পারে

সারাংশ

তরলের নিজস্ব কোন আকার না থাকায় তরলের দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্র প্রসারণ সম্ভব নহে। তরলের শুধু আয়তন প্রসারণ হয়।

তরলের প্রকৃত প্রসারণ=তরলের আপাত প্রসারণ+পাত্রের প্রসারণ।

তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক :

0°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন তরলের যে-আয়তন হয় প্রতি 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ঐ আয়তনের প্রতি এককে যে আপাত-প্রসারণ হইবে তাহাকে উক্ত তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

$$\gamma' = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} = \frac{\text{আয়তনের আপাত প্রসারণ}}{0^\circ C \text{ তাপমাত্রায় আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক :

0°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন তরলের যে-আয়তন হয় প্রতি 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ঐ আয়তনের প্রতি এককে যে প্রকৃত প্রসারণ হইবে তাহাকে উক্ত তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} = \frac{\text{আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ}}{0^\circ C \text{ তাপমাত্রায় আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক = তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক + পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য (1) ডিলাটোমিটার বা (2) ভার থার্মোমিটার ব্যবহার করা যাইতে পারে।

তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক Dulong এবং Petit-এর পদ্ধতি দ্বারা নির্ণয় করা যায়।

তাপমাত্রা বৃদ্ধি [illegible] জলের সংকোচনের আয়তনের প্রসারণ ও সংকোচন অন্যান্য তরল হইতে ভিন্ন। দেখা গিয়াছে 4°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের আয়তন সর্বাপেক্ষা কম আর ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী। হোপের পরীক্ষা দ্বারা জলের এই ব্যতিক্রম খুব সুন্দরভাবে দেখানো যাইতে পারে। শীতের দেশে [illegible] জলের এই ব্যতিক্রান্ত ব্যবহারের জন্য নদী বা পুকুরের জল জমিয়া বরফ হয় না, এবং জলচর প্রাণী প্রচণ্ড শীতেতেও বাঁচিয়া থাকে।

তাপ প্রয়োগে কঠিন ও তরল পদার্থের ন্যায় গ্যাসেরও প্রসারণ হয়।

নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল। চাপের সহিত আয়তনের পরিবর্তন বয়েলের সূত্র দ্বারা এবং তাপমাত্রার সহিত আয়তনের পরিবর্তন চার্লস-এর সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

বয়েলের সূত্র : PV = ধ্রুবক।

চার্লসের সূত্র : $V = V_0\left(1 + \frac{t}{273}\right)$

চার্লস ও বয়েলের সূত্রের সমন্বয় : $\frac{PV}{T}$ = ধ্রুবক

গ্যাসের দুইটি প্রসারণ গুণাঙ্ক :—(1) আয়তন গুণাঙ্ক ও (2) চাপ গুণাঙ্ক যে কোন গ্যাসের বেলাতেই ইহাদের মান সমান।

প্রশ্নাবলী

1. তরলের আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ বলিতে কি বুঝায়? ইহাদের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা কি? এই গুণাঙ্কদ্বয়ের পারস্পরিক সম্পর্ক কি?

[What do you understand by real and apparent expansion of a liquid? What are the definitions of their co-efficients? What is the relation between them?] [cf. H. S. (comp) 1960, 1962]

2. ভার থার্মোমিটারের সাহায্যে তরলের কোন গুণাঙ্ক নির্ণীত হয়? এই পদ্ধতি সবিস্তারে বর্ণনা কর।

[Which co-efficient of expansion of a liquid is determined by a weight thermometer? Describe the method in detail.]

3. একটি ভার থার্মোমিটারে 0°C তাপমাত্রায় 24 gms পারদ আছে। উহাকে 100°C তাপমাত্রায় উষ্ণ করিলে উহাতে 23·622 gms পারদ থাকে। পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক কত? পাত্রের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $6·08\times10^{-6}$ হইলে পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক কত?

[A weight thermometer contains 24 gms of mercury at 0°C. When heated to 100°C it contains 23·622 gms. What is the co-efficient of apparent expansion of mercury? If the co-efficient of linear expansion of the container be $6·08\times10^{-6}$, find the co-efficient of absolute expansion of mercury.] [Ans. 16×10^{-5}, $17·9\times10^{-5}$]

4. একটি ভার থার্মোমিটারকে 15°C তাপমাত্রায় অ্যালকোহল দ্বারা পূর্ণ করিতে 45 gms অ্যালকোহল দরকার হয়। যদি থার্মোমিটারকে 88°C তাপমাত্রায় উষ্ণ করা হয়, তবে কতখানি অ্যালকোহল বাহির হইয়া যাইবে? অ্যালকোহলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক = ·00121.

[A weight thermometer requires when filled completely at 15°C, 45 gms of alcohol. How much alcohol will be expelled when it is heated to 88°C? Co-efficient of apparent expansion of alcohol = ·00121.] [Ans. 0·96 gms (প্রায়)]

5. লম্বা, সূক্ষ্ম ও সমচ্ছেদযুক্ত রন্ধ্রের কাচনলে 0°C তাপমাত্রায় 1 metre দীর্ঘ একটি পারদ-সূত্র আছে। তাপমাত্রা 100°C-এ বৃদ্ধি করিলে পারদসূত্রের দৈর্ঘ্য 16·5 mm. বৃদ্ধি পায়। পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক 0·000182 হইলে কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কত হইবে?

[A long glass tube of uniform capillary bore contains a thread of mercury 1 metre long at 0°C. When the temperature is raised to 100°C, the thread of mercury is found to be 16·5 mm. longer. If the co-efficient of absolute expansion of mercury be ·000182, calculate the co-efficient of linear expansion of glass.] [H. S. (comp) 1960] [Ans. $5·6\times10^{-6}$]

6. একটি কাচনলের অভ্যন্তরীণ প্রস্থচ্ছেদ 0·005 sq. cm এবং উহার এক প্রান্তে 12 c.c. আয়তনের একটি কুণ্ড যুক্ত আছে। 15°C তাপমাত্রায় ঐ কুণ্ডটি একটি তরল দ্বারা পূর্ণ আছে। তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $0·52\times10^{-3}$ হইলে এবং কুণ্ডটিকে 45°C উত্তপ্ত করিলে ঐ তরল নলের কত দূরত্ব পর্যন্ত বিস্তৃত হইবে?

[A piece of glass tubing, internal area of cross-section 0·005 sq. cm. has a bulb of 12 c.c. capacity on the end. The bulb is completely filled at 15°C with a liquid, whose co-efficient of apparent expansion in glass is $0·52 \times 10^{-3}$ per degree centigrade. How far will the liquid rise in the tube when the temperature of bulb is raised to 45°C ?] [Ans. 37·44 cm.]

7. তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক কাহাকে বলে ? উহা কিরূপে নির্ণয় করিবে ?

[What is the co-efficient of real expansion of a liquid ? How would you determine it ?

8. একটি থার্মোমিটারের বাল্বের আয়তন 1 c.c ; ঐ থার্মোমিটারের স্কেলের প্রত্যেক ডিগ্রী যদি 5 mm. লম্বা করিতে হইবে। থার্মোমিটার নলের রন্ধ্রের প্রস্থচ্ছেদ কত হইবে ? কাচ সাপেক্ষ পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 1·6 \times 10^{-4}$ per °C.

[The capacity of a thermometer bulb is 1 c.c. It is desired to make the degree graduations on the scale 5 mm. apart. What must be the cross-section of the bore of the thermometer tube ? The co-efficient of apparent expansion of mercury in glass is $1·6 \times 10^{-4}$ per °C] [Ans. ·03 sq. mm.]

9. একটি কাচের ফ্লাস্কের অভ্যন্তরীণ আয়তন 680 c.c. ; উহার মধ্যে কতখানি পারদ ভর্তি করিলে ফ্লাস্কের বাকী অংশের আয়তন তাপমাত্রার পরিবর্তনে অপরিবর্তিত থাকিবে ? পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 1·8 \times 10^{-4}$ per °C এবং কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 2·5 \times 10^{-5}$ per °C

[The capacity of a glass flask is 680 c.c. What should be the volume of mercury to be put in the flask so that the volume of the remaining portion of the flask remains the same at all temperatures. The co-efficient of real expansion of mercury $= 1·8 \times 10^{-4}$ per °C and the co-efficient of cubical expansion of glass $= 2·5 \times 10^{-5}$ per °C] [Ans [illegible]7·5 c.c.]

10. 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ। ইহার অর্থ পরিষ্কার করিয়া বুঝাইয়া দাও। পারদ ও জলকে 0°C হইতে উষ্ণ করিলে দুইয়ের ব্যবহারের তফাৎ কোথায় ?

[Water has maximum density at 4°C. Explain this statement fully. If mercury and water are gradually heated from 0°C, what would be the difference observed in their behaviour ?]

11. হোপের পরীক্ষার দ্বারা কি প্রমাণিত হয় ? পরীক্ষার বিশদ বিবরণ দিয়া তোমার উত্তর বুঝাইয়া দাও।

[What does Hope's experiment prove ? Explain your answer giving a detailed account of the experiment.]

12. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ কাহাকে বলে ? 2°C হইতে 20°C পর্যন্ত তাপমাত্রা পরিমাপের উপযোগী থার্মোমিটার নির্মাণে পারদের পরিবর্তে জল ব্যবহার করিলে কি ফল হইবে ?

[What is anomalous expansion of water ? What would have been the consequence if water is used as the thermometric substance in a thermometer designed to read temperatures between 2°C and 20°C ?]

13. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলিতে কি বোঝ ? 0°C হইতে 20°C পর্যন্ত তাপমাত্রা পরিবর্তনে নির্দিষ্ট ভরের জলের আয়তন কিরূপ পরিবর্তিত হয় তাহা একটি চিত্র আঁকিয়া বুঝাও। জলের ঘনত্ব 4°C তাপমাত্রায় সর্বোচ্চ হয় তাহা কি পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করিতে পার ?

[What do you understand by 'anomalous expansion of water' ? Draw a diagram showing the change in volume of a given mass of water as its temperature is raised from 0°C to 20°C. By what experiment would you prove that the density of water is maximum at 4°C ?] [*H. S.* (*Comp*) *1962*]

14. নিম্নলিখিত প্রশ্নের জবাব দাও :—

(ক) জলের উপর বরফ জমিলেও তলায় জল তরল অবস্থায় থাকে কেন ?

(খ) জমিয়া যাওয়া নদীতে মাছ বাঁচে কি করিয়া ?

[Answer the following questions :—

(a) How does water remain in the liquid condition at the bottom while that on the surface has frozen ?

(b) How can fish live in a frozen river ?]

15. একটি বীকারে একখণ্ড বরফ লইয়া বীকারে জল ঢালা হইল যতক্ষণ না বীকারটি কানায় কানায় জলে ভর্তি হইল। বরফ সম্পূর্ণ গলিয়া গেলে বীকারের জলের তলের কি পরিবর্তন হইবে যদি (i) 0°C এর জল লওয়া হয়, (ii) 4°C এর জল লওয়া হয়, (iii) উত্তপ্ত জল লওয়া হয়।

[A piece of ice is taken in a beaker and water is poured in the beaker till it is at the point of overflowing. When the whole of ice melts, what will be the change in the water-level of the beaker when the water taken is (i) at 0°C (ii) at 4°C and (iii) hot]

16. তাপ প্রয়োগে গ্যাসের প্রসারণ হইবার পরীক্ষা বর্ণনা কর। গ্যাসের আয়তন প্রসারণ নির্ধারণে তাপমাত্রা ও চাপের উল্লেখ করিতে হয় কেন ?

[Describe experiments to illustrate that gases expand on heating. Why is it necessary to mention temperature and pressure in considering volume expansion of a gas ?]

17. গ্যাসের সূত্র কি ? উহাদের ব্যাখ্যা কর। চার্লসের সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ কি ?

[What are gas laws ? Explain them. What is the experimental verification of Charles' law ?]

18. তাপমাত্রার চরম স্কেল কাহাকে বলে ? চার্লস্ সূত্র হইতে ঐ স্কেল কিরূপে পাওয়া যায় ? এই স্কেলকে "চরম স্কেল" বলিবার তাৎপর্য কি ?

[What is absolute scale of temperature ? Explain how Charles' law leads to the realisation of the scale. What is the significance of calling it "absolute scale" ?]

19. নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন, চাপ ও তাপমাত্রার ভিতর যে সম্পর্ক আছে উহা নির্ণয় কর।

[Establish the relation between the volume, temperature and pressure of a certain quantity of gas.]

20. 15°C তাপমাত্রায় ও একটি নির্দিষ্ট চাপে কিছু পরিমাণ গ্যাসে তাপ প্রয়োগ করিয়া উহার আয়তন দ্বিগুণ করা হইল। উহার বর্ধিত তাপমাত্রা কত হইবে?

[A certain quantity of gas at 15°C and at a particular pressure is heated to double its volume, pressure remaining same. What is the final temperature ?] [Ans. 303°C]

21. 0°C তাপমাত্রায় ও 740 mm. পারদের চাপে একটি পাত্রে 1000 litres গ্যাস আছে। যদি তাপমাত্রা 27°C-এ বর্ধিত করা হয় তবে উক্ত আয়তনযুক্ত গ্যাসের চাপ কত হইবে?

[A vessel contains 1000 litres of gas at 0°C and 740 mm. of mercury pressure. If the temperature by increased to 27°C, what would be the pressure of the gas, volume supposed to be constant ?] [Ans. 813.1 mm.]

22. 27°C তাপমাত্রায় এবং 740 mm. পারদের চাপে কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন 400 c c.; যদি তাপমাত্রা 0°C ও চাপ 760 mm. হয় তবে উক্ত গ্যাসের আয়তন কত হইবে?

[The volume occupied bs a certain mass of gas at 27°C and 740 mm of mercury pressure is 400 c c. If the temperature be changed to 0°C and pressure to 760 mm of mercury, what would be the volume of the gas ?]
[Ans. 354.4 c. c.]

23. 20° তাপমাত্রায় এবং 760 mm. চাপে 100 c.c. গ্যাস জলের উপর সংগ্রহ করা হইল। গ্যাস অধিকৃত স্থান জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত ছিল। স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন কত হইবে? 20°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয়-বাষ্পের চাপ = 17.4 mm

[100 c c. of a gas are collected over water at 20°C and 760 mm pressure, the space being saturated with aqueous vapour. Find the volume of dry gas at N. T. P. The maximum aqueous vapour pressure at 20°C = 17.4 mm.]
[Ans. 91.01 c. c]

24. একটি পাতলা কাচের বাল্ব 27°C তাপমাত্রায় সীল করিয়া বন্ধ করা হইল। উহার আভ্যন্তরীণ চাপ এক atmosphere; বাল্বটি সর্বাধিক যে আভ্যন্তরীণ চাপ সহ্য করিতে পারে তাহা হইল 95 cm. পারদের চাপ। কত তাপমাত্রায় বাল্বটি ফাটিয়া যাইবে?

[A thin glass blub is sealed at 27°C, the internal pressure being 1 atmosphere. The maximum internal pressure the bulb can withstand is 95 cm. of mercury. At what temperature will the bulb burst ?] [Ans. 102°C]

25. একটি ঘরের সাইজ 50 ft × 30 ft × 25 ft; ঐ ঘরের তাপমাত্রা 20°C হইতে 25°C বৃদ্ধি করিলে ঘরের বায়ুর শতকরা কত ভাগ নিষ্ক্রান্ত হইবে? ঘরের বায়ুর চাপ অপরিবর্তিত মনে করিতে পার।

[The measurement of a room is 50 ft × 30 ft × 25 ft. If the temperature of the room is increased from 20°C to 25°C calculate what percentage of the air will be expelled from the room, the pressure remaining constant.]
[Ans 1.71%]

26. গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক কয় প্রকার? উহাদের সংজ্ঞা কি? উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক কি?

[What are the co-efficients of expansion of a gas? What are their definitions? What is the relation between them?]

27. সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক কাহাকে বলে? ইহা কি সকল গ্যাসের বেলায় সমান? ইহার মান নির্ণয় কর।

[What is universal gas constant? Is it same for all gases? Determine its value.]

28. রেনোর স্থির চাপ থার্মোমিটার বর্ণনা কর। ইহার সাহায্যে কিরূপে আয়তন গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়?

[Describe Regnault's constant pressure thermometer. How can you find the value of volume co-efficient with its help?]

29. স্থির চাপে 0°C হইতে 35°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কোন গ্যাসের আয়তন 1 litre হইতে বৃদ্ধি পাইয়া 1.128 litre হইল। ইহা হইতে চরম শূন্যের মান নির্ণয় কর।

[A gas expands in volume from 1 litre to 1.128 litre due to a change of temperature from 0°C to 35°C, pressure remaining constant. Calculate from these data, the value of the absolute zero.] [Ans −273°C]

[Objective Type Questions]

30. নিম্নলিখিত উক্তিগুলির শূন্য স্থান পূর্ণ কর :—

(i) গ্যাসের আয়তন প্রসারণ নির্ণয়ে—এবং—উল্লেখ বিশেষ প্রয়োজন।

(ii) স্থির তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন ও চাপ সম্পর্কিত সূত্রকে—সূত্র বলা হয়।

(iii) স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রা সম্পর্কিত সূত্রকে—সূত্র বলা হয়।

(iv) তরলের নিজস্ব কোন আকার না থাকায় তরলের—বা—প্রসারণ সম্ভব নয়।

(v) 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা—।

(vi) তাপমাত্রার চরম স্কেলের শূন্য দাগ সেন্টিগ্রেড স্কেলের—দাগের সমান।

(vii) তাপমাত্রা ঠিক রাখিয়া কিছু পরিমাণ গ্যাসের উপর—বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে ঐ গ্যাসের—চাপের সহিত—পরিবর্তিত হইবে।

(viii) সমান তাপ পাইলে সকল গ্যাসের প্রসারণ—হয়।

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

অবস্থা পরিবর্তন (Change of State)

কঠিন হইতে তরল অবস্থায় রূপান্তর

5-1. সূচনা :

আমরা জানি পদার্থ তিন রকম অবস্থায় থাকিতে পারে, যথা :—কঠিন, তরল ও বায়বীয়। যখন কোন পদার্থ কঠিন হইতে তরলে বা তরল হইতে বায়বীয় অবস্থাতে অথবা বায়বীয় হইতে তরল ইত্যাদি এক অবস্থা হইতে অন্য কোন অবস্থাতে পরিবর্তিত হয় তখন তাহাকে পদার্থের অবস্থা পরিবর্তন বলা হয়।

5-2. গলন ও কঠিনীভবন (Melting and Solidification) :

ধর, একটুকরা বরফকে -10 C তাপমাত্রায় রাখা আছে। ঐ বরফ টুকরাতে যদি তাপ প্রয়োগ করা হয় তবে দেখা যাইবে যে উহার তাপমাত্রা বাড়িতেছে। **(যখন তাপমাত্রা 0°C হইল তখন তাপ প্রয়োগ সত্ত্বেও তাপমাত্রার আর কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে না, কিন্তু বরফ গলিয়া জল হইতে শুরু করিবে।)** যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত বরফ গলিয়া জল হইবে ততক্ষণ পর্যন্ত তাপ প্রয়োগ সত্ত্বেও তাপমাত্রা 0°C থাকিবে। পরে বরফ-গলা জলের তাপমাত্রা আস্তে আস্তে বৃদ্ধি পাইবে।

তেমনি যদি খানিকটা বিশুদ্ধ জল লইয়া ক্রমাগত ঠাণ্ডা করা যায় তবে জলের তাপমাত্রা হ্রাস পাইবে। কিন্তু যখন তাপমাত্রা 0°C-এ পৌঁছিবে তখন ঠাণ্ডা করা সত্ত্বেও জলের তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে না, কিন্তু জল জমিয়া বরফ হইতে শুরু করিবে। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত জল জমিয়া বরফে পরিণত হইবে ততক্ষণ পর্যন্ত ঠাণ্ডা করা সত্ত্বেও তাপমাত্রা 0 C থাকিবে। পরে বরফের তাপমাত্রা আস্তে আস্তে হ্রাস পাইবে।

উপরের ঘটনা হইতে বলা যায়, যে-কোন পদার্থে তাপ প্রয়োগ করিলে প্রথমত উহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পৌঁছিলে

কঠিন পদার্থ গলিতে শুরু করে এবং তখন তাপপ্রয়োগ সত্ত্বেও তাপমাত্রার আর কোন পরিবর্তন হয় না, যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত পদার্থ গলিয়া তরলে পরিণত হয়। এই ব্যাপারকে **পদার্থের গলন** বলা হয়।

তেমনি, কোন তরল পদার্থ হইতে তাপ নিষ্কাশন করিলে প্রথমত উহার তাপমাত্রা হ্রাস পায়। কিন্তু **একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পৌঁছিলে তরল পদার্থ জমিয়া কঠিন পদার্থে পরিণত হইতে শুরু করে** এবং তখন তাপ নিষ্কাশন সত্ত্বেও তাপমাত্রার আর কোন পরিবর্তন হয় না, যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল জমিয়া কঠিন হয়। এই ব্যাপারকে পদার্থের **কঠিনীভবন** বলা হয়।

5-3. পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক (Melting point and freezing point of a substance) :

কোন নির্দিষ্ট চাপে পদার্থ যে-তাপমাত্রায় গলিতে শুরু করে তাহাকে উক্ত পদার্থের **গলনাঙ্ক** বলে। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত পদার্থ গলিয়া যায় ততক্ষণ ঐ তাপমাত্রা স্থির থাকে।

কোন নির্দিষ্ট চাপে তরল যে-তাপমাত্রায় জমিতে শুরু করে তাহাকে উক্ত তরলের **হিমাঙ্ক** বলে। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল জমিয়া যায় ততক্ষণ ঐ তাপমাত্রা স্থির থাকে।

প্রায় সকল পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক সমান। যেমন, সাধারণ বায়ুমণ্ডলের চাপে বরফ 0°C-এ গলিয়া জল হয়। আবার জল ঐ তাপমাত্রাতেই জমিয়া বরফে পরিণত হয়। কিন্তু কতগুলি অকেলাস (non-crystalline) পর্যায়-ভুক্ত পদার্থ আছে—যেমন, চর্বি, মোম, কাচ ইত্যাদি—এগুলি গলিবার পূর্বে একপ্রকার থকথকে (viscous) অবস্থায় উপনীত হয়। এই পদার্থগুলির কোন বিশেষ নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই বা উহাদের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক সমান নয়। যেমন, মাখন 28°C এবং 33°C তাপমাত্রার মধ্যে গলে এবং 23°C ও 20°C-এর মধ্যে জমিয়া যায়। কিন্তু একথা মনে রাখিতে হইবে যে কোন পদার্থের গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক ধ্রুবক নয়। চাপের উপর উহা নির্ভর করে।

0°C তাপমাত্রার জলের সহিত 0°C তাপমাত্রার বরফের অন্তর্নিহিত তাপ (heat content) সম্পর্কে তফাৎ আছে। কারণ 0°C তাপমাত্রার প্রতি

গ্র্যাম জল হইতে 80 calorie তাপ নিষ্কাশন করিলে 0°C তাপমাত্রার বরফ পাওয়া যায়। অর্থাৎ, উপরোক্ত জল হইতে বরফে তাপ অনেক কম। এই কারণে বস্তু শীতলীকরণে 0°C তাপমাত্রাব জল অপেক্ষা 0°C তাপমাত্রার বরফ অনেক বেশী কাযকর।

5·4. গলনে বা কঠিনীভবনে আয়তনের পরিবর্তন (Change of volume during melting or solidification):

কঠিন পদার্থ তরলে পরিণত হইলে আয়তনের প্রসারণ হয় এবং তরল পদার্থ কঠিনে পরিণত হইলে আয়তনের সংকোচন হয়। ইহাই সাধারণ নিয়ম। কিন্তু জল, ঢালাই লোহা (cast iron), পিতল, বিসমাথ, অ্যান্টিমনি প্রভৃতি পদার্থ এই নিয়মের ব্যতিক্রম। ইহারা তরলে পরিণত হইলে আয়তনে সংকুচিত হয় এবং তরল অবস্থা হইতে কঠিনে পরিণত হইলে আয়তনে প্রসারিত হয়। যথা, 0°C তাপমাত্রায় 11 c.c. জল জমিয়া বরফে পরিণত হইলে 12 c.c. হয় অর্থাৎ শতকরা 9 ভাগ আয়তনে বৃদ্ধি পায়। তেমনি ঢালাই লোহা প্রায় শতকরা 7 ভাগ আয়তনে বৃদ্ধি পায়।

শীতের দেশে যখন জল জমিয়া বরফে পরিণত হয় তখন আয়তন বৃদ্ধির জন্য নানারকম অসুবিধা হয়। অনেক সময় দেখা গিয়াছে যে জলের পাইপে জল জমিয়া বরফে পরিণত হইয়াছে এবং তাহার ফলে আয়তন বৃদ্ধির জন্য যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হইয়াছে তাহাতে জলের পাইপ ফাটিয়া গিয়াছে। প্রচণ্ড শীতে পাহাড়ের পাথরে একই কারণে ফাটলের সৃষ্টি হয়।

জমিবার সময় জলের আয়তন বৃদ্ধির ফলে যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হয় তাহা পরীক্ষাগারে নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষার দ্বারা দেখানো যাইতে পারে।

মুখ আটকাইবার স্ক্রু-ছিপিসহ একটি লোহার ফ্লাস্ক সংগ্রহ কর। খানিকটা জল ফুটাইয়া উহার ভিতর হইতে দ্রবীভূত বায়ু অপসারণ করিয়া ফ্লাস্কটি ঐ জল দ্বারা পূর্ণ কর এবং মুখ স্ক্রু-ছিপি দ্বারা শক্তভাবে বন্ধ কর। এখন, ঐ ফ্লাস্ককে হিমমিশ্রণের মধ্যে রাখিয়া দাও। দেখিবে কিছুক্ষণ পরে লোহার ফ্লাস্কটি ফাটিয়া যাইবে। ইহার কারণ এই যে ফ্লাস্কের ভিতরের জল জমিয়া গিয়া আয়তনে প্রসারিত হইতে চায় এবং ফ্লাস্কের গায়ে প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করে। ইহাতে ফ্লাস্কটি ফাটিয়া যায়।

জলের ভিতর কিছু দ্রবীভূত বায়ু থাকিলে ফ্লাস্কটি নাও ফাটিতে পারে। কারণ জলের আয়তন বৃদ্ধির ফলে যে অতিরিক্ত চাপের সৃষ্টি হয় তা বায়ুকে সংকুচিত করে এবং ঐ স্থান জল অধিকার করে। ঐ অবস্থায় ফ্লাস্কের দেওয়ালে খুব বেশী বল প্রযুক্ত নাও হইতে পারে।

কিন্তু লোহা বা পিতল যখন তরল হইতে কঠিনে পরিণত হয় তখন উহাদের আয়তন বৃদ্ধি অনেক কাজের সুবিধা করে। ঢালাই করিবার সময় ছাঁচকে পুরাপুরি ভর্তি করিয়া ছাঁচের ভিতর গলিত ধাতু ঢালিয়া দেওয়া হয় এবং উহা যখন জমিয়া শক্ত হয় তখন আয়তনে বাড়িয়া ছাঁচকে পরিপূর্ণভাবে আঁটিয়া ধরে। ফলে ঢালাইয়ের ধারগুলি খুব সূক্ষ্ম হয় এবং অবিকল ছাঁচের আকার পায়। টাইপ করিবার হরফগুলি একই পদ্ধতিতে তৈয়ারী করা হয়।

5-5. পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয় (Determination of melting point of a substance) :

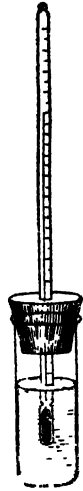
(ক) কৈশিক নল পদ্ধতি (Capillary tube method) :

একটি সূক্ষ্মরন্ধ্রবিশিষ্ট 4 ইঞ্চি লম্বা কৈশিক নল লও। যে পদার্থের (ন্যাপথেলীন, মোম ইত্যাদি) গলনাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে তাহার খানিকটা গুঁড়া করিয়া নলের ভিতর ঢুকাইয়া নলের একমুখ আগুনে গলাইয়া বন্ধ কর। নলটি একটি থার্মোমিটারের সঙ্গে বাঁধ (5ক নং চিত্র)। পরে উহাকে একটি জলপূর্ণ পাত্রে এমনভাবে ডুবাও যেন কৈশিক নলের খোলামুখ জলের বাহিরে থাকে (চিত্র দেখ)। একটি বার্নারের সাহায্যে এইবার জল আস্তে আস্তে গরম কর ও আলোড়ক দ্বারা জল নাড়। উত্তপ্ত হইয়া কৈশিক নলের পদার্থ গলিতে শুরু করিবে। যে-মুহূর্তে গলন শুরু হইবে তখনকার তাপমাত্রা থার্মোমিটার হইতে পড়। সমস্ত পদার্থ গলিয়া যাইবার পর বার্নার সরাইয়া জল ঠাণ্ডা হইতে দাও। আস্তে আস্তে পদার্থটি জমিতে শুরু করিবে। সেই মুহূর্তে আবার থার্মোমিটারের তাপমাত্রা দেখ। এই দুই তাপমাত্রার গড় হইল পদার্থটির গলনাঙ্ক।

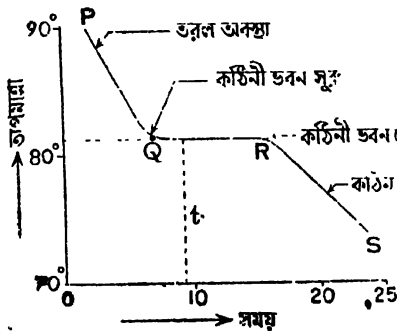
কৈশিক নল দ্বারা গলনাঙ্ক নির্ণয়
চিত্র 5ক

পরীক্ষাধীন পদার্থের গলনাঙ্ক জলের স্ফুটনাঙ্ক (boiling point) অর্থাৎ 100°C হইতে বেশী হইলে জল ব্যবহার করা চলিবে না। তখন এমন তরল ব্যবহার করিতে হইবে যাহার স্ফুটনাঙ্ক উক্ত পদার্থের গলনাঙ্ক হইতে বেশী। যেমন, মোম, ন্যাপথেলীন প্রভৃতির বেলাতে জল ব্যবহার করা যাইবে কিন্তু গন্ধকের বেলায় সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহার করিতে হইবে।

(খ) **শীতলতার লেখচিত্র দ্বারা** (By cooling curve) :

একটি টেস্ট টিউবে পরীক্ষাধীন পদার্থের (মোম ইত্যাদি) খানিকটা লইয়া কর্ক দ্বারা মুখ বন্ধ কর। কর্কের ছিদ্র দিয়া একটি থার্মোমিটার ঢুকাও। এখন টেস্ট টিউবটি উত্তপ্ত করিয়া বস্তুটি গলাইয়া ফেল এবং গলিত বস্তুর তাপমাত্রা আরো 10°C কি 15°C বেশী কর। এইবার টেস্ট টিউবটি ঠাণ্ডা হইতে দাও এবং প্রতি আধমিনিট অন্তর থার্মোমিটার হইতে তাপমাত্রা দেখ (5খ নং চিত্র)। তাপমাত্রা ক্রমশ হ্রাস পাইবে এবং এক সময়ে আস্তে আস্তে বস্তুটি জমিয়া কঠিনে পরিণত হইতে শুরু করিবে। সেই সময় থার্মোমিটার তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন দেখাইবে না। সমস্ত বস্তু জমিয়া গেলে তখন আবার তাপমাত্রা হ্রাস পাইতে থাকিবে। সমস্ত বস্তুটি জমিবার পরও কিছুক্ষণ তাপমাত্রা লক্ষ্য কর।

গলনাঙ্ক নির্ণয় ব্যবস্থা

চিত্র 5খ

এইবার সময় ও তাপমাত্রার একটি লেখ-চিত্র আঁক। অনুভূমিক অক্ষ বরাবর সময় এবং উলম্ব অক্ষ বরাবর তাপমাত্রা নির্দেশ করিতে হইবে। 5গ নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে লেখ-চিত্রটি ঐরূপ হইবে। লেখ-চিত্রটি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে খানিকটা অংশ (Q হইতে R) সময়ের অক্ষের (time axis) সহিত সমান্তরাল। ইহা হইতে বোঝা যায় যে ঐ সময় ধরিয়া বস্তুটি

তাপমাত্রা-সময় লেখচিত্র

চিত্র 5গ

জমিয়া কঠিন পদার্থে পরিণত হইতেছিল। কারণ আমরা জানি যে কঠিনা-ভবনের সময় তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে। কাজেই ঐ অংশের আনুষঙ্গিক তাপমাত্রা পদার্থটির হিমাঙ্ক অথবা গলনাঙ্কের সমান।

লেখচিত্রের PQ অংশ বস্তুর তরল অবস্থা নির্দেশ করে। Q বিন্দুতে কঠিনীভবন সুরু হয় এবং R বিন্দুতে সমস্ত পদার্থ কঠিনে পরিণত হয়। অতঃপর RS অংশ পদার্থের কঠিন অবস্থা নির্দেশ করে।

কয়েকটি পদার্থের গলনাঙ্কের তালিকা

পদার্থ	গলনাঙ্ক	পদার্থ	গলনাঙ্ক
তামা	$1083^\circ C$	ঢালাই লোহা	$1200^\circ C$
পিতল	$1000^\circ C$	টিন	$232^\circ C$
সোনা	$1063^\circ C$	ন্যাপথেলীন	$80^\circ C$
রূপা	$960^\circ C$	মোম	$52 - 58^\circ C$
সীসা	$327^\circ C$	বরফ	$0^\circ C$
টাংস্টেন	$3000^\circ C$	সালফিউরিক অ্যাসিড	$10.3^\circ C$

6. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on melting point) :

আগেই বলা হইয়াছে যে, পদার্থের গলনাঙ্ক চাপের উপর নির্ভর করে; চাপ ও গলনাঙ্কের পারস্পরিক সম্বন্ধ নিম্নরূপ :

(1) গলনের ফলে যে-সমস্ত পদার্থের আয়তন হ্রাস পায়, যেমন—ঢালাই লোহা, বরফ ইত্যাদি, চাপ বৃদ্ধি করিলে ঐ সমস্ত পদার্থের গলনাঙ্ক কমিয়া যায় অর্থাৎ উহারা কম তাপমাত্রায় গলে। ইহার সহজ কারণ এই যে বর্ধিত চাপ পদার্থটির আয়তন সংকোচনের সুবিধা করিয়া দেয় এবং তাহার ফলে গলনাঙ্ক কমিয়া যায়।

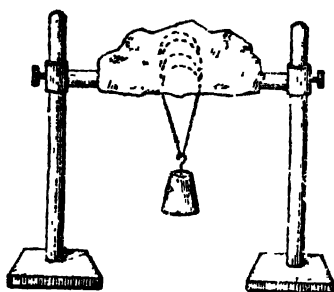
(2) গলনের ফলে যে-সমস্ত পদার্থের আয়তন বৃদ্ধি পায়, যেমন—মোম ইত্যাদি, চাপ বৃদ্ধি করিলে ঐ সমস্ত পদার্থের গলনাঙ্ক বাড়িয়া যায় অর্থাৎ উহারা

কঠিন অবস্থায় থাকিতে পারে না; গলিয়া জল হয়। যেই চাপ ছাড়িয়া দেওয়া হয় তখন সংযোগস্থলের গলনাঙ্ক আবার বাড়িয়া যায়। সুতরাং সংযোগস্থলের বরফ গলা জল জমাট বাঁধিয়া দুই টুক্‌রাকে জোড়া লাগাইয়া দেয়।

চাপ প্রয়োগে বরফকে গলানো এবং চাপ ছাড়িয়া উহাকে আবার কঠিন অবস্থায় আনাকে **পুনঃশিলীভবন** (Regelation) বলা হয়।

নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা পরীক্ষাগারে পুনঃশিলীভবন খুব সুন্দরভাবে দেখানো যাইতে পারে।

Bottomley-র পরীক্ষা :

বরফের একটি বড় টুক্‌রা দুইটি অবলম্বনের (support) উপর রাখা আছে। একটি সরু তামার তার বরফের উপর ঝুলাইয়া উহার দুই প্রান্ত জোড়া লাগাও এবং ঐখান হইতে একটি কয়েক গ্র্যামের বাট্‌খারা ঝুলাইয়া দাও (56 নং চিত্র)। দেখা যাইবে যে কিছু সময় পর তারটি বাট্‌খারাসহ বরফ কাটিয়া বাহির হইয়া আসিল কিন্তু বরফ টুকরাটি যেমন অবিভক্ত ছিল তেমনই রহিল।

Bottomely-র পরীক্ষা
চিত্র 56

ইহার কারণ এই যে তারটি সরু হওয়ায় এবং ওজন ঝুলাইয়া দেওয়ায় তারের নীচে বরফের উপর বেশ চাপ পড়ে। ফলে সেই স্থানের বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যায় এবং বরফ গলিয়া জল হয়। ইহার জন্য যে-তাপের প্রয়োজন হয় তাহা তার ও বায়ু সরবরাহ করে। এইজন্য চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ুর তাপমাত্রা খুব কম থাকিলে এই ধরনের ব্যাপার ঘটিবে না। এখন তারটি ঐ জল ভেদ করিয়া খানিকটা নীচে নামে। সঙ্গে সঙ্গে জলের চাপ কমিয়া যায় এবং উহার গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। সুতরাং বরফ গলা জল আবার জমাট বাঁধিয়া যায়। এই ঘনীভবনের ফলে কিছু লীন-তাপ ঐ জল পরিত্যাগ করে এবং এই তাপ তামার তার দ্বারা পরিবাহিত হইয়া নীচে চলিয়া যায় ও নীচের বরফকে গলিবার জন্য সাহায্য করে। এইভাবে আস্তে আস্তে তারটি বরফ কাটিয়া

বাহির হইবে কিন্তু বরফ টুকরাটি দুইটি ভাগে ভাগ হইবে না, কারণ তারটি নীচে নামিবার সঙ্গে সঙ্গে উপরের জল জমাট বাঁধিবে।

উপরোক্ত আলোচনা হইতে ইহা সহজে বোঝা যায় যে এই পরীক্ষা সাফল্য-মণ্ডিত করিতে হইলে তারটি তাপের সুপরিবাহী এবং সরু হওয়া প্রয়োজন। এইজন্য সাধারণত সরু তামার তার লওয়া হয়। সূতা লইলে ইহা আদৌ হইবে না কারণ সূতা মোটেই তাপ পরিবহণ করে না।

5-8. দ্রবণের হিমাঙ্ক (Freezing point of a solution) :

যখন কোন বস্তুকে কোন তরলে দ্রবীভূত করা যায় তখন দেখা যায় দ্রবণের (solution) হিমাঙ্ক উক্ত তরলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা কম। যেমন, লবণকে জলে দ্রবীভূত করিলে যে লবণ-গোলা জল পাওয়া যায় তাহার হিমাঙ্ক জলের হিমাঙ্ক অর্থাৎ 0°C অপেক্ষা 2°C কম।

কিন্তু যখন কোন দ্রবণ জমিতে শুরু করে তখন বিশুদ্ধ দ্রাবক (pure solvent) কেলাস আকারে দ্রবণ হইতে পৃথক হইয়া পড়ে এবং দ্রবণ ক্রমশ ঘন হইতে শুরু করে। এই ঘটনাকে প্রয়োগ করিয়া শীতপ্রধান দেশে সমুদ্র-জল হইতে লবণ প্রস্তুত করা হয়। সমুদ্র-জল প্রায় −2°C তাপমাত্রায় জমিতে আরম্ভ করে। যত সমুদ্র-জল জমে ততই বিশুদ্ধ জল তাহা হইতে পৃথক হইয়া পড়ে এবং নির্দিষ্ট পরিমাণ সমুদ্র-জলে স্থিত লবণের শতকরা পরিমাণ বাড়িয়া যায়। পরে ঐ সমুদ্র-জলকে উত্তপ্ত করিয়া বাষ্পীভূত করা হয় এবং লবণ পৃথক করিয়া লওয়া হয়।

শীতের দেশে মোটর রেডিয়েটারে জল জমিয়া রেডিয়েটার নলকে ফাটাইয়া ফেলিতে পারে। ইহা নিবারণের জন্য জলের সহিত গ্লাইকল বা গ্লিসারিন মিশানো হয়। ইহাতে মিশ্রিত জলের হিমাঙ্ক কমিয়া যায়।

হিমমিশ্রণ (Freezing mixtures) :

তিনভাগ গুঁড়া বরফ ও একভাগ লবণ মিশাইলে যে-মিশ্রণ পাওয়া যায় তাহার তাপমাত্রা −23°C. এই ধরনের মিশ্রণকে **হিমমিশ্রণ** বলে। সাধারণত কোন কঠিন পদার্থ কোন তরলে দ্রবীভূত হইলে সমগ্র মিশ্রণের তাপমাত্রা কমিয়া যায়। ইহার কারণ নিম্নরূপ।

আমরা জানি যখন কোন কঠিন পদার্থ কঠিন অবস্থা হইতে তরলে রূপান্তরিত হয় তখন উক্ত পদার্থ কিছু পরিমাণে তাপ গ্রহণ করে যাহা গলিত

পদার্থে লীন (latent) অবস্থায় থাকে। কঠিন পদার্থটিকে কোন দ্রাবকে (solvent) দ্রবীভূত হইতে দিলে পদার্থ উক্ত তাপ দ্রাবক হইতে সংগ্রহ করে। ফলে সমগ্র মিশ্রণটি ঠাণ্ডা হইয়া যায় এবং তাপমাত্রা কমিয়া যায়। বরফ ও লবণ মিশাইলে, প্রতি গ্রাম বরফ লবণ ও বরফের গায়ে লাগানো জল হইতে 80 ক্যালরি তাপ সংগ্রহ করিয়া জলে পরিণত হইবে। সুতরাং বরফ-লবণ মিশ্রণের তাপমাত্রা যথেষ্ট কমিয়া যাইবে।

এইরূপ সমপরিমাণ জল ও অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট মিশ্রণের তাপমাত্রা −15°C হয়।

হিমমিশ্রণকে নানারূপ কাজে লাগানো হয়। সাধারণত পচনশীল বস্তু হিম-মিশ্রণে আবৃত করিয়া রাখিলে কিছুদিন টাটকা থাকে। এইজন্য মাছ চালান দেওয়ার সময় বরফ-লবণের হিমমিশ্রণে মাছ সংরক্ষণ করিয়া চালান দেওয়া হয়। কুলপী-বরফ তৈরী করিতেও বরফ-লবণের হিমমিশ্রণ ব্যবহার করা হয়।

5-9. গলনের নিয়ম (Laws of fusion):

গলন ও কঠিনীভবন সম্পর্কে যে-সমস্ত তথ্য এ-পর্যন্ত আলোচিত হইল উহাদিগকে কতকগুলি সূত্রের আকারে লেখা যাইতে পারে এবং এইগুলিকে সাধারণভাবে গলনের নিয়ম বলা হয়। যথা:

(1) কোন নির্দিষ্ট চাপে প্রত্যেক পদার্থ একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় গলিতে শুরু করে এবং যতক্ষণ না সমস্ত পদার্থটি গলিয়া যায় ততক্ষণ পর্যন্ত তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে। ঐ তাপমাত্রাকে উক্ত পদার্থের গলনাঙ্ক বলে।

(2) গলনের ফলে যে-সমস্ত পদার্থের আয়তন হ্রাস পায়, যেমন—ঢালাই লোহা, বরফ ইত্যাদি, চাপ বৃদ্ধি করিলে ঐ সমস্ত পদার্থের গলনাঙ্ক কমিয়া যায় এবং গলনের ফলে যে-সমস্ত পদার্থের আয়তন বৃদ্ধি পায়, চাপ বাড়াইলে উহাদের গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়।

(3) দুই বা ততোধিক ধাতুর মিশ্রণে কোন সংকর ধাতুর (alloy) গলনাঙ্ক উহার উপাদান ধাতুগুলির গলনাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়। যেমন, ঝালাই করার রাংঝাল, সীসা ও টিনের সংমিশ্রণে তৈয়ারী হয় এবং উহার গলনাঙ্ক 180°C; কিন্তু সীসার গলনাঙ্ক 327°C এবং টিনের গলনাঙ্ক 232°C.

সংকর ধাতুর গলনাঙ্ক কম হওয়ায় অনেক সময় ইহাকে অগ্নি নির্বাপক এবং সতর্কীকরণ ব্যবস্থায় কাজে লাগানো হয়।

(4) দ্রবণের (solution) হিমাঙ্ক দ্রাবকের (solvent) হিমাঙ্ক অপেক্ষা কম।

(5) প্রত্যেক পদার্থের গলনের বা কঠিনীভবনের লীন-তাপ ধ্রুবক (constant) কিন্তু বিভিন্ন পদার্থের বেলাতে ইহা বিভিন্ন।

তরল হইতে বায়বীয় অবস্থায় রূপান্তর

5-10. বাষ্প এবং বাষ্পীভবন (Vapour and Vaporisation) :

কোন তরলের বায়বীয় অবস্থাকে উক্ত তরলের **বাষ্প** বলা হয় এবং যে-পদ্ধতিতে তরল বাষ্পে পরিণত হয় তাহাকে **বাষ্পীভবন** বলে। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল বাষ্পে পরিণত হইতে কিছু তাপ গ্রহণ করিবে যাহা বাষ্পে লীন অবস্থায় থাকে। এই তাপকে বাষ্পীভবনের লীন-তাপ বলে।

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে **গ্যাস ও বাষ্প এক জিনিস নহে।** ইহাদের মধ্যে পার্থক্য বুঝিয়া রাখা উচিত। আমরা সাধারণভাবে এই দুইটি কথার ভিতর কোন পার্থক্য সৃষ্টি করি না; একই অর্থে দুইটি কথাকেই ব্যবহার করিয়া থাকি। কিন্তু তাহা ঠিক নহে।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে কোন তরল হইতে উদ্ভূত বাষ্পকে যে-কোন তাপমাত্রায় রাখিয়া চাপ প্রদান করিলে উহা পুনরায় তরলীভূত হয় না। তরলীভূত করিতে হইলে বাষ্পকে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় অথবা উহা হইতে কম তাপমাত্রায় রাখিয়া চাপ প্রদান করিতে হইবে। ঐ নির্দিষ্ট তাপমাত্রাকে বলা হয় **সংকট-তাপমাত্রা** (critical temperature)। কোন বাষ্প সংকট-তাপমাত্রার নিম্নে থাকিলেই উহাকে বাষ্প বলা উচিত, আর সংকট-তাপমাত্রার ঊর্ধ্বে থাকিলে উহাকে গ্যাস বলা উচিত।

5-11. বাষ্পীভবনের বিভিন্ন উপায় (Different ways of vaporisation) :

বাষ্পীভবন তিন রকম উপায়ে হইতে পারে। যেমন—(1) বাষ্পায়ন (evaporation), (2) স্ফুটন (boiling or ebullition), (3) ঊর্ধ্বপাতন (sublimation).

(1) **বাষ্পায়ন :**

ধীরে ধীরে তরল অবস্থা হইতে বাষ্পে পরিণত হওয়ার পদ্ধতিকে বাষ্পায়ন বলে। বাষ্পায়ন তরলের উপরতল হইতে হয় এবং যে-কোন তাপমাত্রায় হইতে পারে। গরমকালে নদী, পুকুর শুকাইয়া যাওয়া, খোলা পাত্রে খানিকটা জল রাখিয়া দিলে কিছুদিন পরে তাহা উবিয়া যাওয়া, ভিজাকাপড রৌদ্রে দিলে শুকাইয়া যাওয়া প্রভৃতি বাষ্পায়নের দরুন হয়।

(2) **স্ফুটন :**

খুব দ্রুত তরল অবস্থা হইতে বাষ্পে পরিণত হওয়ার পদ্ধতিকে স্ফুটন বলা হয়। স্ফুটন জলের বা তরলের সমস্ত অংশ হইতে সংঘটিত হয় এবং পারিপার্শ্বিক চাপের উপর নির্ভর করিয়া একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় শুরু হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল বাষ্পে পরিণত হয় ততক্ষণ পর্যন্ত এই তাপমাত্রা স্থির থাকে।

(3) **ঊর্ধ্বপাতন :**

কঠিন অবস্থা হইতে সোজাসুজি বাষ্পে পরিণত হওয়াকে বলা হয় ঊর্ধ্বপাতন। ঊর্ধ্বপাতনে বস্তু তরল অবস্থায় পরিণত হয় না। কর্পূর, ন্যাপথেলীন প্রভৃতি পদার্থ সোজাসুজি সাধারণ তাপমাত্রাতেই কঠিন হইতে বাষ্পে পরিণত হয়।

5-12. বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের পার্থক্য (Difference between evaporation and boiling) :

বাষ্পায়ন ও স্ফুটন—এই দুই পদ্ধতির ভিতর নিম্নলিখিত প্রভেদ বর্তমান :

(1) স্ফুটন অতি দ্রুত সংঘটিত হয় কিন্তু বাষ্পায়ন অতি ধীরে ধীরে হয়।

(2) স্ফুটন তরলের সমগ্র অংশ ব্যাপিয়া হয়, কিন্তু বাষ্পায়ন তরলের উপর-তল হইতে হয়।

(3) স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলের চাপে স্ফুটন এক নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় শুরু হয় কিন্তু বাষ্পায়ন সকল তাপমাত্রাতেই হইয়া থাকে।

5-13. বাষ্পায়নের হার পরিবর্তনের কারণ (Factors influencing rate of evaporation) :

নিম্নলিখিত কারণগুলির জন্য বাষ্পায়নের হার পরিবর্তিত হয়।

(1) **বায়ুর শুষ্কতা :**

বায়ু যত শুষ্ক হইবে অর্থাৎ জলীয়-বাষ্পের পরিমাণ কম থাকিবে, বাষ্পায়ন তত দ্রুত হইবে। এই কারণে বর্ষাকাল অপেক্ষা শীতকালে ভিজা কাপড় দ্রুত শুকাইতে দেখা যায়।

(2) **বায়ুমণ্ডলের চাপ :**

বায়ুমণ্ডলের চাপ বৃদ্ধির সঙ্গে বাষ্পায়নের হার হ্রাস পায়। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে সম্পূর্ণ বায়ু-শূন্য স্থানে (যেখানে চাপ শূন্য) বাষ্পায়ন অতি দ্রুত সংঘটিত হয়।

(3) **তরল ও তরল-সংলগ্ন বায়ুর তাপমাত্রা :**

তরল ও তরল-সংলগ্ন বায়ুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে বাষ্পায়নের হারও বৃদ্ধি পায়। তাই গ্রীষ্মকালে পুকুর, ডোবা প্রভৃতি জলাশয়ের জল দ্রুত শুকাইয়া যায়।

(4) **তরলের উপরিতলের ক্ষেত্রফল :**

তরলের উপরিতলের ক্ষেত্রফল যত বেশী বিস্তৃত হয় বাষ্পায়নও তত দ্রুত হয়। এই কারণে কাপ হইতে চা ডিশে ঢালিলে চা দ্রুত ঠাণ্ডা হয়।

(5) **তরলের প্রকৃতি :**

তরল যত উদ্বায়ী (volatile) হইবে অর্থাৎ স্ফুটনাঙ্ক যত কম হইবে, উক্ত তরল হইতে বাষ্পায়নও তত দ্রুত হইবে। তাই স্পিরিট, ইথার, অ্যালকোহল, পেট্রল প্রভৃতি দ্রুত বাষ্পীভূত হয়।

(6) **বায়ু চলাচল :**

তরলের উপর দিয়া যত বায়ু চলাচল হইবে তরল তত শীঘ্র বাষ্পীভূত হইবে। এইজন্য হাওয়া দিলে ভিজা কাপড় বা উষ্ণ তরল তাড়াতাড়ি শুকায় বা ঠাণ্ডা হইয়া যায়।

5-14. বাষ্পায়নে শৈত্যের উৎপত্তি (Cold caused by evaporation) :

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে কোন তরল বাষ্পে পরিণত হইতে গেলে কিছু লীন-তাপ গ্রহণ করে। বাহির হইতে এই তাপ প্রদান না করিলে, তরল নিজ দেহ

হইতে অথবা পরিপার্শ্ব হইতে তাপ সংগ্রহ করিয়া আস্তে আস্তে বাষ্পে পরিণত হইবে। সুতরাং তরল অথবা পরিপার্শ্ব ইহার ফলে শীতল হয়। নিম্নলিখিত কতকগুলি উদাহরণ হইতে ইহা স্পষ্ট বোঝা যাইবে।

(1) হাতে কয়েক ফোঁটা স্পিরিট ফেলিলে হাত খুব ঠাণ্ডা মনে হয়। ইহার কারণ স্পিরিট উদ্বায়ী বলিয়া খুব দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয় এবং ইহার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ হাত হইতে সংগ্রহ করে। ফলে হাত খুব শীতল হয়। একই কারণে জ্বর হইলে কপালে ওডিকোলনের পটি বা জলপটি দেওয়া হয়। জলপটি হইতে জল বাষ্পীভূত হইবার সময় দেহ হইতে তাপ লয় এবং ইহাতে জ্বর কমিয়া যায়।

(2) গাত্র হইতে যখন ঘাম বাহির হয় তখন পাখার হাওয়া দিলে দেহ শীতল হয়। কারণ হাওয়া দিলে ঘাম বাষ্পে পরিণত হইতে সুবিধা পায় এবং দেহ হইতে প্রয়োজনীয় লীন-তাপ সংগ্রহ করিয়া দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়। ফলে দেহ ঠাণ্ডা হয়।

(3) গরমের দিনে পানীয় জল ঠাণ্ডা করিবার জন্য জল মাটির কুঁজায় রাখা হয়। কুঁজা মাটির তৈয়ারী বলিয়া ইহার গায়ে অসংখ্য ছিদ্র থাকে। এই ছিদ্র দিয়া সর্বদা জল চোয়াইয়া বাহিরে আসে এবং বাষ্পে পরিণত হয়। ইহার জন্য প্রয়োজনীয় লীন-তাপ কুঁজার গাত্র সরবরাহ করে এবং কুঁজা ঠাণ্ডা হইয়া যায়। সুতরাং কুঁজার অভ্যন্তরস্থ জলও ঠাণ্ডা হইয়া যায়। কিন্তু কাচের পাত্র বা কাঁসার পাত্রে জল রাখিলে জল তত ঠাণ্ডা হয় না। কারণ ঐ পাত্রের গায়ে ছিদ্র থাকে না এবং বাষ্পায়নের কোন সুবিধা থাকে না। পাত্রের মুখ হইতে যেটুকু বাষ্পীভূত হইবার তাহাই হয়। সেইজন্য জল তেমন ঠাণ্ডা হইতে পারে না।

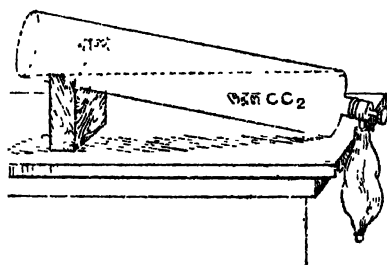
(4) গরমের দিনে ঘরের জানালায় 'খস্‌খস্‌' ঝুলাইয়া তাহাতে জল ছিটাইয়া ঘর ঠাণ্ডা রাখা হয়। ইহার কারণ এই যে খস্‌খসের জল খস্‌খস্‌ হইতে লীন-তাপ সংগ্রহ করিয়া বাষ্পে পরিণত হয়। ফলে খস্‌খস্‌ ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। সুতরাং খস্‌খসের ভিতর দিয়া ঘরে যে-হাওয়া আসে তাহাও ঠাণ্ডা হয়।

(5) ভিজা জামা-কাপড় গায়ে শুকাইলে সর্দি লাগে। এইজন্য ভিজা জামা-কাপড় গায়ে দিয়া থাকিতে নাই। জামা-কাপড়ের জল গা হইতে তাপ

লইয়া বাষ্পীভূত হয়। তাহাতে গা হঠাৎ শীতল হইয়া পড়ে। তখন ঠাণ্ডা লাগিয়া সর্দি হইবার সম্ভাবনা দেখা দেয়।

বাষ্পায়নে যে শৈত্যের উৎপত্তি হয় তাহাকে প্রয়োগ করিয়া বরফ-কল তৈয়ারী হইয়াছে। এই কলে তরল অ্যামোনিয়াকে বাষ্পায়নের সুযোগ দিয়া শৈত্য সঞ্চার করা হয় এবং শৈত্যের ফলে জল জমিয়া বরফে পরিণত হয়।

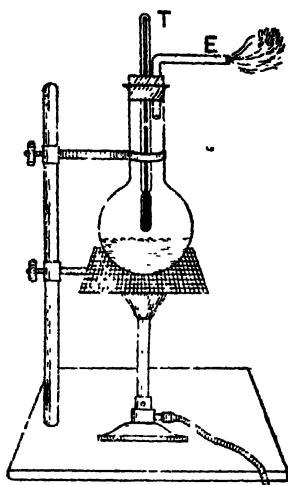
রেফ্রিজারেটারও উপরোক্ত প্রক্রিয়া অনুসারে কাজ করে। রেফ্রিজারেটারের অভ্যন্তর খুব শীতল বলিয়া উহার ভিতর মাংস, ডিম, ফল প্রভৃতি পচনশীলন দ্রব্যাদি বহুদিন অবিকৃতভাবে রাখা যায়।

বাষ্পায়নের ফলে শৈত্যের সৃষ্টি এবং তাহা দ্বারা তরলের কঠিনীভবন হইবার একটি চমৎকার উদাহরণ হইতেছে **শুষ্ক-বরফ** (dry ice) প্রস্তুত-প্রণালী। তরল কার্বন ডাই-অক্সাইড জমিয়া গেলে যাহা হয় তাহাকেই আমরা শুষ্ক বরফ বলি। একটি চোঙাকৃতি পাত্রে তরল কার্বন ডাই-অক্সাইড রাখা হয় এবং পাত্রটিকে একটু কাত করিলে পাত্রের মুখের একটি ভাল্‌ভ হইতে তরল কার্বন ডাই-অক্সাইড তীব্র ধারায় বাহির হইয়া আসে। ঐ তরলের দ্রুত বাষ্পায়নের ফলে উহা খুব ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে এবং উহার এক অংশ জমিয়া কঠিন হয়। পাত্রের মুখের সঙ্গে আটকানো একটি মসলীনের তৈরী ব্যাগে উহা সংগ্রহ করা হয় (চিত্র 5চ)।

চিত্র 5চ

শুষ্ক বরফের তাপমাত্রা $-78^{\circ}C$, কাজেই উহা খুব শীতল। এই কারণে শীতলীকরণের নানা প্রক্রিয়ায় ইহার ব্যবহার দেখা যায়।

5-15. তরলের স্ফুটন (Boiling of a liquid) :

কিভাবে তরলের স্ফুটন সংঘটিত হয় এবং কি অবস্থায় বলা যাইতে পারে যে তরলের স্ফুটন হইতেছে তাহা নিম্নলিখিত পরীক্ষা হইতে সুন্দররূপে বোঝা যাইবে।

: একটি কাচের ফ্লাস্ক লইয়া উহাতে কিছু জল ঢাল। ফ্লাস্কের মুখ একটি রবারের ছিপি দিয়া বন্ধ কর। ছিপির একটি ছিদ্র দিয়া একটি থার্মোমিটার (T) এবং আর একটি ছিদ্র দিয়া একটি বাকানো কাচনল (E) ঢুকাও। দেখিও যেন থার্মোমিটারের কুণ্ডটি জলের একটু উপরে থাকে (চিত্র 5ছ)। ফ্লাস্কটি চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ অবলম্বনের (support) সহিত আটকাও এবং তলায় একটি তারের জাল রাখ। অতঃপর বার্নারের সাহায্যে ফ্লাস্ককে আস্তে আস্তে উত্তপ্ত কর।

তরলের স্ফুটন

চিত্র 5ছ

প্রথম প্রথম জল একটু উত্তপ্ত হইলে দেখিবে যে জলের উপর-তল হইতে কিছু কিছু বাষ্প উঠিতেছে এবং জলে দ্রবীভূত বায়ু বুদ্‌বুদের আকারে জল হইতে বাহির হইয়া পাত্রের গায়ে জমিতেছে। থার্মোমিটারের দিকে লক্ষ্য করিলে দেখিবে যে তাপমাত্রা ক্রমশ বাড়িতেছে। যখন পারদ প্রায় 70°/80°C দাগ স্পর্শ করিবে তখন ফ্লাস্কের তলায় জলীয়-বাষ্পের বুদ্‌বুদ্ গঠিত হইতে দেখা যাইবে। এই বুদ্‌বুদ্‌গুলি উপরে উঠিয়া অপেক্ষাকৃত শীতল জলের সংস্পর্শে আসিয়া ভাঙ্গিয়া যাইবে। এই সময় একটা শোঁ শোঁ শব্দ (simmering sound) শোনা যাইবে। অবশেষে যখন তাপমাত্রা 98°/99°C কাছাকাছি হইবে তখন বুদ্‌বুদ্‌গুলি তলা হইতে উপরে আসিয়া ফাটিয়া পড়িবে এবং সমগ্র তরল পদার্থে একটা আলোড়নের সৃষ্টি হইবে। তখন E কাচনল দিয়া প্রচুর স্টীম বাহির হইতে থাকিবে এবং থার্মোমিটারে তাপমাত্রা স্থির হইবে। তখন বলা যাইবে যে জলের স্ফুটন হইতেছে। স্ফুটনকালে তরলের তাপমাত্রা স্থির থাকিবে।

5-16. তরলের স্ফুটনাঙ্কের সংজ্ঞা :

যে-তাপমাত্রায় কোন তরলের স্ফুটন হয় তাহাকে উক্ত তরলের স্ফুটনাঙ্ক (boiling point) বলা হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল বাষ্পে

পরিণত হয় ততক্ষণ পর্যন্ত ঐ তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে কিন্তু পারিপার্শ্বিক বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর ঐ তাপমাত্রা নির্ভরশীল।

প্রত্যেক তরলেরই একটি স্বাভাবিক (normal) স্ফুটনাঙ্ক আছে অর্থাৎ স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলের চাপে যে-তাপমাত্রায় তরলের স্ফুটন হয় তাহাকেই স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক বলে। যেমন, স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলের চাপে জলের 100°C তাপমাত্রাতে স্ফুটন হয়। সুতরাং 100°C জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক।

100°C তাপমাত্রার জল এবং ঐ জল হইতে উত্থিত স্টীমের ভিতর অন্তর্নিহিত তাপ (heat content) সম্পর্কে তফাৎ আছে। উভয়ের তাপমাত্রা 100°C হইলেও প্রতি গ্র্যাম জল অপেক্ষা প্রতি গ্র্যাম ষ্টীমে 537 calorie তাপ বেশী আছে। জলকে 100°C তাপমাত্রাতে উত্তপ্ত করিলেই ষ্টীম নির্গত হইবে না। প্রতি গ্র্যাম জলে আরো 537 calorie তাপ সরবরাহ করিলে তবে জল হইতে ষ্টীম নির্গত হইবে। অন্তর্নিহিত তাপের পার্থক্য হেতু 100°C তাপমাত্রার জলে হাত যেরূপ পুড়িবে ষ্টীমের সংস্পর্শে হাত অনেক বেশী পুড়িয়া যাইবে।

5-17. স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effects of pressure on boiling point) **:**

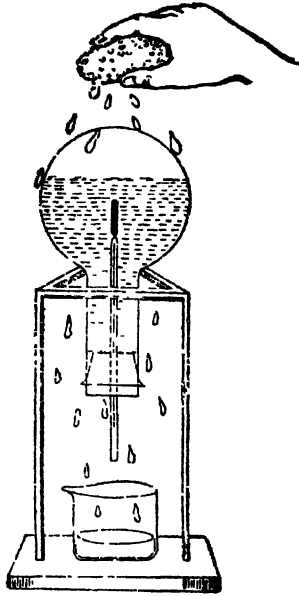
পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, কোন তরলের স্ফুটনাঙ্ক তরলের উপরিস্থ তলে যে চাপ পড়িতেছে তাহার উপর নির্ভরশীল। **চাপ কমাইলে তরলের স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায় অর্থাৎ, তরল কম তাপমাত্রায় ফোটে এবং চাপ বাড়াইলে স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায় অর্থাৎ তরল বেশী তাপমাত্রায় ফোটে।** নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষাদ্বারা ইহা সুন্দরভাবে দেখানো যাইতে পারে।

(1) চাপ-হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস ঃ Franklin-এর পরীক্ষা ঃ

একটি গোল তলাযুক্ত কাচের পাত্র অর্ধেক জলভর্তি করিয়া জল ফুটাও। জলের বাষ্প পাত্র হইতে সমস্ত বায়ুকে বাহির করিয়া দিবে। এইবার একটি কর্ক দিয়া পাত্রের মুখ বন্ধ কর এবং কর্কের ফুটা দিয়া একটি থার্মোমিটার ঢুকাও। পাত্রটিকে গরম করা বন্ধ কর এবং 5জ নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐ রকম উল্টা করিয়া বসাও। জলের উপরের জায়গা জলীয় বাষ্প দ্বারা পূর্ণ থাকিবে। আগুন সরাইয়া লইবার ফলে জলের স্ফুটন

বন্ধ হইবে। এইবার পাত্রের উপর ঠাণ্ডা জল ঢাল। দেখিবে জল পুনরায় ফুটিতে শুরু করিয়াছে অথচ থার্মোমিটারে তাপমাত্রা 100°C হইতে কয়েক ডিগ্রী কম। এইরূপ হইবার কারণ কি ?

ঠাণ্ডা জল ঢালার দরুন পাত্রের অভ্যন্তরস্থ জলীয় বাষ্পের খানিকটা তরলে পরিণত হয়। ফলে তরলের উপরের চাপ অনেক হ্রাস পায় এবং সঙ্গে সঙ্গে স্ফুটনাঙ্কও হ্রাস পায়। জলের তাপমাত্রা আনুষঙ্গিক স্ফুটনাঙ্কের বেশী থাকায় ঐ কম তাপমাত্রাতেই পুনরায় জল ফুটিতে শুরু করে। সুতরাং এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হয় যে চাপ হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস হয়।

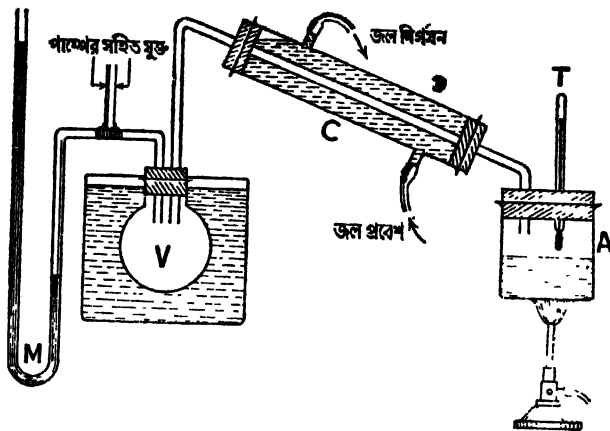
চাপ-হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস—এই ঘটনা নানা শিল্পপ্রতিষ্ঠানে প্রযুক্ত হয়। উদাহরণ স্বরূপ কয়েকটি রাসায়নিক পদার্থ—যেমন, হাইড্রোজেন পারক্সাইড প্রস্তুত প্রণালীতে, চিনির দ্রবণ হইতে চিনির কেলাসন প্রস্তুত প্রণালীতে ইহার প্রয়োগ দেখিতে পাওয়া যায়।

চাপ-হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস : Frankling-এর পরীক্ষা
চিত্র 5জ

(2) চাপ-বৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি : Regnault-এর পরীক্ষা :

এই পরীক্ষার প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা 5ঝ নং চিত্রে প্রদর্শিত হইল। V একটি বায়ুপূর্ণ তামার বর্তুলাকার পাত্র। ইহার সহিত একটি সরু নল দ্বারা বায়ুনিরুদ্ধ তামার স্ফুটন-পাত্র (boiler) A সংযুক্ত। ঐ নলকে ঠাণ্ডা রাখিবার জন্য উহার গায়ে আর একটি জলের মোটা পাইপ C লাগানো আছে। এই ব্যবস্থাকে শীতক (condenser) বলে। উহার একমুখ দিয়া ঠাণ্ডা জল প্রবেশ করে এবং অন্যমুখ দিয়া বাহির হইয়া যায়। A স্ফুটন-পাত্রে পরীক্ষাধীন তরল লইয়া উহার ভিতর একটি থার্মোমিটার T এমনভাবে ঢুকানো থাকে যে থার্মোমিটার তরলের খানিকটা উপরে থাকে। V-পাত্রটি একটি জলগাহের (water-bath) মধ্যে

রাখা হয় যাহাতে উহার তাপমাত্রার তারতম্য না ঘটে। এই V-পাত্রের সহিত একটি বায়ুসংনমন পাম্প ও একটি ম্যানোমিটার-M যুক্ত থাকে। পাম্প দ্বারা

চাপবৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি : Regnault-এর পরীক্ষা ব্যবস্থা

চিত্র 5ঝ

V-পাত্রের বায়ুর চাপ বৃদ্ধি করা যায় এবং ম্যানোমিটার দ্বারা ঐ চাপ পরিমাপ করা হয়।

কার্যপ্রণালী :

প্রথমত V-পাত্রের বায়ুর চাপ বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান করিয়া A-পাত্র গরম কর। পাত্রের তরল বাষ্প হইয়া C-শীতক বেষ্টিত সরু নলে প্রবেশ করিবে কিন্তু শীতক দ্বারা ঠাণ্ডা হইয়া পুনরায় তরল অবস্থায় A-পাত্রে ফিরিয়া আসিবে। ইহার ফলে তরলের উপর চাপের কোন তারতম্য হইবে না—ইহা বায়ুমণ্ডলের চাপের সমানই থাকিবে। ক্রমাগত তাপ প্রদান করাতে এক সময় স্ফুটনপাত্রের তরল ফুটিতে শুরু করিবে। তখন থার্মোমিটার একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা দেখাইবে। ইহাই তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক।

এইবার পাম্প চালাইয়া V-পাত্রের বায়ুর চাপ বৃদ্ধি কর যাহাতে ইহা বায়ুমণ্ডলের চাপকে ছাড়াইয়া যায়। ইহার ফলে তরলের উপরের চাপও বায়ুমণ্ডলের চাপকে ছাড়াইয়া যাইবে। এইবার স্ফুটনপাত্রে তাপ প্রয়োগ কর। দেখিবে যে যখন তরল ফুটিতে আরম্ভ করিবে তখন থার্মোমিটারে তাপমাত্রা

পূর্বের স্ফুটনাঙ্ক হইতে অনেক বেশী। এইভাবে V-পাত্রের বায়ু-চাপ ক্রমশ বৃদ্ধি করিলে তরলের স্ফুটনাঙ্কও ক্রমশ বৃদ্ধি পাইবে।

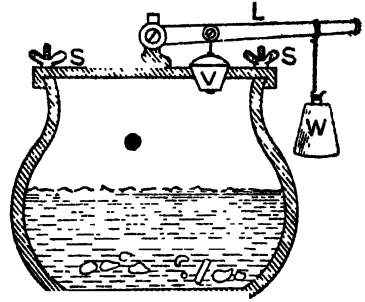
চাপহ্রাসে স্ফুটনাঙ্ক হ্রাস পায়—ইহাও এই পরীক্ষা দ্বারা দেখানো যাইতে পারে। ইহার জন্য V-পাত্রের সহিত বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প (exhaust pump) লাগাইয়া পাত্র হইতে বায়ু বাহির করিয়া লইতে হইবে। ইহাতে স্ফুটনপাত্রের তরলের উপরিস্থ চাপ হ্রাস পাইবে এবং দেখা যাইবে যে তরল অনেক কম তাপমাত্রায় ফুটিতেছে।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে প্রত্যেক 27 mm. বায়ুর চাপ বৃদ্ধি বা হ্রাসের ফলে জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক (100°C) 1°C করিয়া বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

পাহাড়ের উপর বায়ু-চাপ কম থাকায় জলের স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায়—অর্থাৎ কম তাপমাত্রায় জল ফুটিতে পাবে। হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে এভারেস্ট গিরিশৃঙ্গে (উচ্চতা 29,000 ft) জল মাত্র 70°C তাপমাত্রাতে ফুটিতে সুরু করিবে। যদি মানুষ 65,000 ft উঁচুতে উঠিতে পারে তবে মানুষের দেহের জল (অনাবৃত অবস্থায় থাকিলে) ফুটিতে সুরু করিবে কারণ ঐ উচ্চতায় জল মাত্র 37°C তাপমাত্রায় ফুটিবে। দার্জিলিং পাহাড়ে (উচ্চতা প্রায় 7000 ft.) জলের স্ফুটনাঙ্ক প্রায় 90°C.

চাপ বৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি—এই ঘটনার প্রয়োগ কয়েকটি শিল্প প্রতিষ্ঠানে দেখিতে পাওয়া যায়। যেমন, করাত গুঁড়া এবং কষ্টিক সোডা হইতে কাগজের মণ্ড প্রস্তুত করিতে, কৃত্রিম সিল্ক তৈয়ারীতে, হাড় হইতে জিলেটিন নিষ্কাশনে ইহার প্রয়োগ আছে। তাছাড়া হাসপাতালে ব্যবহৃত ব্যাণ্ডেজ, তোয়ালে প্রভৃতি এই প্রণালীর সাহায্যে বীজানুমুক্ত করা হয়। টিনজাত খাদ্যদ্রব্য প্রস্তুত প্রণালীতেও ইহার প্রয়োগ দেখা যায়।

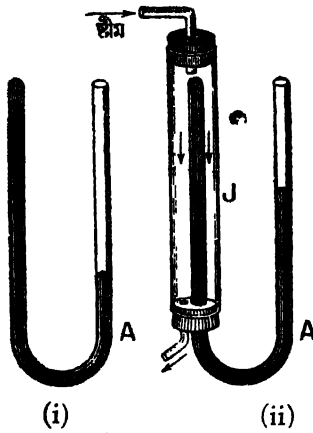
পাহাড়ে জলের স্ফুটনাঙ্ক কম বলিয়া মাংস, ডিম প্রভৃতি সুসিদ্ধ হয় না। মাংস, ডিম প্রভৃতি সুসিদ্ধ হইবার জন্য যে-তাপের প্রয়োজন, জল কম তাপমাত্রায় ফুটিবার জন্য ঐ তাপ সরবরাহ করিতে পারে না। এই খাদ্যদ্রব্যগুলি রন্ধনের জন্য পাহাড়ের উপর pressure-cooker নামক এক প্রকার যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রে কৃত্রিম উপায়ে চাপ বৃদ্ধি করিয়া জলকে 100°C-এ ফুটানো হয়।

5এ নং চিত্রে একটি ঐরূপ কুকার দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি ধাতুনির্মিত মোটা দেওয়ালের পাত্র। দুইটি স্ক্রু S এবং S দ্বারা একটি ঢাকনীকে পাত্রের মুখে বায়ু-নিরুদ্ধভাবে আটকানো যায়। ঢাকনীতে একটি ছিদ্র আছে এবং ঐ ছিদ্রের মুখ একটি ভাল্‌ভ V বন্ধ করিয়া রাখে। একটি লিভার দণ্ড L এবং ওজন W-এর সহায়তায় ভাল্‌ভকে ছিদ্রমুখে আটকাইয়া রাখা হয়। ওজনটিকে লিভার-দণ্ডের বিভিন্ন স্থানে রাখিলে ভাল্‌ভটি বিভিন্ন চাপে ছিদ্র বন্ধ করিবে এবং তাহার ফলে কুকারের অভ্যন্তরস্থ স্টীমের চাপ বিভিন্ন হইবে। যদি স্টীমের চাপ একটু বেশী হইয়া পড়ে তাহা হইলে ভাল্‌ভটি খুলিয়া যাইবে এবং অতিরিক্ত চাপ লাঘব হইবে। ইহাতে পাত্র ভাঙ্গিবার ভয় থাকে না। ওজন W-কে বিভিন্ন স্থানে রাখিয়া স্টীমের চাপ বিভিন্ন করা যাইতে পারে এবং তাহাতে কুকারের জলকে প্রয়োজন মত 100°C অথবা তাহার বেশী তাপমাত্রাতে ফুটানো যাইতে পারে। এই ধরনের কুকারে দশ মিনিট সময়ে মাংস সুসিদ্ধ করা যায়। এই কুকারকে Pepin's digester এই নামেও অভিহিত করা হয়।

Pressure-Cooker
চিত্র 5এ

তোমরা হয়ত লক্ষ্য করিয়া থাকিবে যে বাড়ীতে ভাত বা মাংস রান্না করিবার সময় হাড়িতে ঢাকনা চাপা দেওয়া হয়। ইহার কারণ স্টীমের চাপ বৃদ্ধি করা। তাহাতে ভাত বা মাংস সুসিদ্ধ হয়।

5-18. তরলের স্ফুটন হইলে ঐ তরলের বাষ্পের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয় (The vapour pressure of a liquid at its boiling point is equal to the atmospheric pressure) :

নিম্নলিখিত পরীক্ষাদ্বারা উপরের উক্তির সত্যতা প্রমাণ করা যাইবে। A একটি U-অক্ষরের ন্যায় বাঁকানো কাচনল। ইহার একমুখ বন্ধ এবং একমুখ খোলা। ইহার প্রত্যেকটি বাহু প্রায় এক ফুট লম্বা। এই নলটির খোলামুখ দিয়া শুষ্ক ও পরিষ্কার পারদ ঢাল। পারদ দুই বাহুতেই প্রবেশ করিবে। এই-ভাবে পারদ ঢালিতে থাক যতক্ষণ পর্যন্ত না নলের খোলা মুখের দিকে আধ ইঞ্চি

পরিমাণ স্থান খালি থাকে। এইবার ঐ স্থান জল দিয়া ভর্তি কর। এই জল পাতিত জল (distilled water) হইলে ভাল হয় এবং আগে হইতে ফুটাইয়া দ্রবীভূত বায়ু বহিষ্কৃত করিয়া নিলে আরো ভাল হয়। এখন খোলা-মুখ আঙ্গুল দিয়া চাপিয়া নলটিকে উল্টাইলে জল পারদ ঠেলিয়া উপরে উঠিবে এবং নলের বাঁক পার হইয়া বদ্ধ বাহুতে পারদের উপরে আসিয়া জমা হইবে। এখন একটি সরু কাঠি খোলা মুখ দিয়া ঢুকাইয়া খোলা বাহু হইতে আস্তে আস্তে পারদ বাহির করিয়া লও যাহাতে খোলাবাহুর পারদশীর্ষ বদ্ধবাহুর পারদশীর্ষ অপেক্ষা

তরলের স্ফুটন হইলে তরলের বাষ্পের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়

চিত্র 5ট

নীচে থাকে [চিত্র 5ট (i)]। এখন A-নলটি উপরোক্ত পরীক্ষার জন্য তৈয়ারী হইল। এইবার নলটির বদ্ধবাহু আর একটি মোটা কাচনল J দ্বারা ঘিরিতে হইবে [চিত্র 5ট (ii)]। ইহাকে জ্যাকেট বলা হয়। ইহার দুই মুখই কর্ক দ্বারা শক্ত করিয়া আটকানো। উপরের কর্কের ছিদ্র দিয়া একটি ছোট বাঁকানো নলের সাহায্যে জ্যাকেটের ভিতর স্টীম প্রবেশ করিতে পারে এবং তলার কর্কের ছিদ্র দিয়া আর একটি নলের সাহায্যে বাহির হইয়া যাইতে পারে। তলার কর্কটি A-নলটিকে খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিতেও সাহায্য করে। এখন বয়লার (চিত্রে দেখানো হয় নাই) হইতে স্টীম জ্যাকেটে পাঠাইলে দেখা যাইবে যে A-নলের দুই বাহুতে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য আস্তে আস্তে কমিয়া আসিতেছে। কিছুক্ষণ পরে দুই বাহুতেই পারদস্তম্ভ একই উচ্চতায় আসিবে [চিত্র 5ট (ii)]। বদ্ধবাহুতে পারদশীর্ষে যে চাপ পড়িতেছে তাহা পারদ-স্তম্ভের উপরিস্থ জলীয় বাষ্পের চাপ এবং উহার তাপমাত্রা স্টীমের তাপমাত্রার সমান। খোলাবাহুতে পারদশীর্ষে বায়ুমণ্ডলের চাপ পড়িতেছে। পারদস্তম্ভদ্বয় সমান উচ্চতায় থাকার দরুন জলীয়-বাষ্পের চাপ এবং বায়ুমণ্ডলের চাপ সমান। সুতরাং বলা যায় যে জলের স্ফুটনাঙ্কে জলীয় বাষ্পের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। এই ঘটনা শুধু জলের বেলাতে নয়—যে-কোন তরলের বেলাতেই হইবে।

5-19. তরলের স্ফুটনাঙ্কের উপর প্রভাবকারী উপাদান (Factors influencing the boiling point of a liquid) :

নিম্নলিখিত উপাদানগুলি যে-কোন তরলের স্ফুটনাঙ্কের উপর প্রভাব বিস্তার করিবে।

(1) **তরলের উপরিস্থ চাপ :** যে-চাপের অধীনে তরলকে ফুটিতে দেওয়া হইবে ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক ঐ চাপের উপর নির্ভর করে। চাপ বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে এবং চাপ কমিলে স্ফুটনাঙ্ক কমে। পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে প্রতি 27 mm. বায়ু-চাপ হ্রাস-বৃদ্ধির ফলে জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক (100°C) 1°C করিয়া হ্রাস-বৃদ্ধি পায়।

(2) **তরলে দ্রবীভূত অবস্থায় অপদ্রব্যের (impurities) অবস্থান :** তরলে অপদ্রব্য দ্রবীভূত অবস্থায় থাকিলে ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ তরল অপেক্ষা বেশী হয়। যেমন, বিশুদ্ধ জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক 100°C, কিন্তু জলে সাধারণ লবণ দ্রবীভূত অবস্থায় থাকিলে ঐ জলের স্ফুটনাঙ্ক প্রায় 9°C বাড়িয়া যায়। এই কারণে কোন তরলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করিতে গেলে থার্মোমিটার কুণ্ড কখনও তরলে নিমজ্জিত করিতে নাই। তরল হইতে উদ্ভূত বাষ্পের সংস্পর্শে রাখিতে হয়।

(3) **স্ফুটন পাত্রের উপাদান :** পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে কোন তরলের স্ফুটনাঙ্ক স্ফুটনপাত্রের উপাদান এবং পরিষ্কার পরিচ্ছন্নতা দ্বারা কিছু পরিমাণে প্রভাবান্বিত হয়। যেমন, তামা এবং কাচপাত্রে জল ফুটাইলে কাচপাত্রের বেলাতে স্ফুটনাঙ্ক সামান্য বেশী হয়। ঐ কাচপাত্র পরিষ্কার থাকিলে স্ফুটনাঙ্ক আরও বাড়িয়া যায়।

5-20. স্ফুটনের নিয়ম (Laws of ebullition) :

তরলের স্ফুটন সম্পর্কে যে-সমস্ত তথ্য এ-পর্যন্ত আলোচিত হইল উহাদিগকে কতকগুলি সূত্রের আকারে লেখা যাইতে পারে এবং এইগুলিকে সাধারণভাবে স্ফুটনের নিয়ম বলা হয়। যথা :

(1) প্রত্যেক তরলেরই একটি স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক আছে অর্থাৎ স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলের চাপে যে-তাপমাত্রায় তরলের স্ফুটন হয় তাহাকেই স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক বলে। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল বাষ্পে পরিণত হয় ততক্ষণ পর্যন্ত ঐ তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে।

(2) যে-চাপের অধীনে তরলকে ফুটিতে দেওয়া হয় উহার হ্রাস-বৃদ্ধিতে তরলের স্ফুটনাঙ্ক হ্রাস-বৃদ্ধি পায়।

(3) দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা সর্বদা বেশী হয়।

কয়েকটি তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের তালিকা

তরল	স্ফুটনাঙ্ক	তরল	স্ফুটনাঙ্ক
পরিস্রুত জল	100°C	তার্পিন তেল	159°C
সালফিউরিক অ্যাসিড	325°C	অ্যাল্‌কোহল	78·3°C
কার্বন টেট্রা-ক্লোরাইড	76·7°C	গ্লিসারিন	280°C
		ইথার	35°C

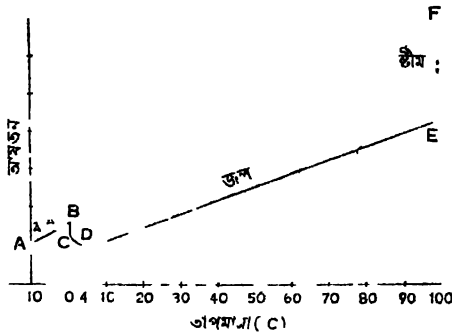
5-21. অবস্থা পরিবর্তনে জলের আয়তনের পরিবর্তন (Change of volume of water with change of state):

উত্তাপ পাইলে বরফ গলিয়া জল হয় এবং জল স্টীমে পরিণত হয়—অর্থাৎ কঠিন হইতে তরল এবং তরল হইতে বাষ্পে অবস্থান্তর হয়। এই অবস্থান্তরের সময় আয়তনের পরিবর্তন হয়। এই ধরনের অবস্থান্তরে প্রায় প্রত্যেক পদার্থেরই আয়তনের প্রসারণ হয়। কিন্তু জলের বেলাতে আয়তনের পরিবর্তন সর্বদা এক রকম নয় বলিয়া ইহা উল্লেখযোগ্য। পরপৃষ্ঠার 5ঠ নং চিত্রে −10°C তাপমাত্রার এক গ্র্যাম বরফ গলিয়া জল হইলে এবং ঐ জল স্টীমে পরিণত হইলে আয়তনের কিরূপ পরিবর্তন হইবে তাহার লেখচিত্র দেখানো হইয়াছে। অবশ্য, এই লেখচিত্র স্কেল অনুযায়ী আঁকা হয় নাই—শুধু মাত্র পরিবর্তন কিরূপ হয় তাহা লেখচিত্রে বুঝানো হইয়াছে।

−10°C হইতে 0°C পর্যন্ত বরফ উত্তাপ পাইয়া আয়তনে একটু বাড়িবে কিন্তু ইহার অবস্থার কোন পরিবর্তন হইবে না। ইহা AB অংশ দ্বারা বুঝানো হইয়াছে।

0°C-এ পৌছলে বরফ গলিয়া জল হইবে—অর্থাৎ অবস্থান্তর ঘটিবে। ঐ সময় তাপমাত্রা 0°C-এ স্থির থাকিবে এবং বরফ-গলা জলের আয়তন কিছু হ্রাস পাইবে। এই ঘটনা লেখচিত্রের BC অংশ দ্বারা বুঝানো হইয়াছে। ঐ অংশ প্রায় উল্লম্ব—অর্থাৎ ঐ অংশে তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন হয় নাই।

আয়তন—তাপমাত্রা লেখচিত্র

চিত্র ৮৬

সমস্ত ববফ গলিয়া জল হইলে এবং তাপমাত্রা 0°C হইতে বৃদ্ধি পাইলে জলের আয়তন ক্রমশ হ্রাস পাইবে এব 4 C তাপমাত্রায় আয়তন সর্বাপেক্ষা কম হইবে। ইহা লেখচিত্রেব CD অংশেব দ্বাবা বুঝানো হইয়াছে।

অতঃপর জলের তাপমাত্রা 4 C হইতে যত বৃদ্ধি পাইবে জলেব আয়তন তত বৃদ্ধি পাইবে যতক্ষণ না জলেব তাপমাত্রা 100°C-এ পৌঁছায়। জলেব আয়তনেব এই পবিবর্তন DE অংশ বুঝাইতেছে।

100°C তাপমাত্রায় জল স্টীমে পবিণত হইতে সুরু কবিবে অর্থাৎ পুনবায় অবস্থান্তব ঘটিবে। এই সময়ে তাপমাত্রা 100°C-এ স্থিব থাকিবে। কিন্তু স্টীমেব আয়তন জলেব আয়তন অপেক্ষা অনেক বেশী হওযায়, এইবাব আয়তনেব পবিবর্তন হইবে অনেক বেশী। ইহা লেখচিত্রেব খাড়া অংশ EF দ্বাবা বুঝানো হইয়াছে

F বিন্দু সমস্ত জলেব স্টীমে রূপান্তরণ বুঝাইতেছে। এক গ্র্যাম জল 100°C-এ স্টীমে পবিণত হইলে ঐ স্টীমেব আয়তন হইবে জলেব আয়তনেব প্রায় 1600 গুণ।

সারাংশ

গলন ও কঠিনীভবন : কোন কঠিন পদার্থে তাপপ্রয়োগ করিলে প্রথমত উহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পৌঁছিলে কঠিন পদার্থ গলিতে শুরু করে এবং তখন তাপ প্রয়োগ সত্ত্বেও তাপমাত্রার আর কোন পরিবর্তন হয় না যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত পদার্থ গলিয়া তরলে পরিণত হয়। ইহাকে পদার্থের গলন এবং উক্ত তাপমাত্রাকে পদার্থের গলনাঙ্ক বলা হয়।

তেমনি কোন তরল পদার্থ হইতে তাপ নিষ্কাশন করিলে প্রথমত উহার তাপমাত্রা হ্রাস পায়। কিন্তু একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পৌঁছিলে তরল পদার্থ জমিয়া কঠিন পদার্থে পরিণত হইতে সুরু করে এবং তখন তাপ নিষ্কাশন সত্ত্বেও তাপমাত্রার আর কোন পরিবর্তন হয় না যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল জমিয়া কঠিন পদার্থে পরিণত হয়। ইহাকে কঠিনীভবন এবং উক্ত তাপমাত্রাকে তরলের হিমাঙ্ক বলা হয়।

সাধারণত কঠিন পদার্থ তরলে পরিণত হইলে আয়তনের প্রসারণ হয় এবং তরল পদার্থ কঠিনে পরিণত হইলে আয়তনের সংকোচন হয়। কিন্তু জল, ঢালাই লোহা, পিতল প্রভৃতি কয়েকটি পদার্থ ইহার ব্যতিক্রম।

গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব :

(1) গলনের ফলে যে-সব পদার্থের আয়তন হ্রাস পায়, চাপ বৃদ্ধি করিলে উহাদের গলনাঙ্ক কমিয়া যায়।

(2) গলনের ফলে যে-সব পদার্থের আয়তন বৃদ্ধি পায়, চাপ বাড়াইলে উহাদের গলনাঙ্ক বাড়িয়া যায়।

পুনঃশিলীভবন :

চাপ প্রয়োগে বরফকে গলানো এবং চাপ ছাড়িয়া উহাকে আবার কঠিন অবস্থায় আনাকে পুনঃশিলীভবন বলে। Bottomley-র পরীক্ষা দ্বারা পরীক্ষাগারে পুনঃশিলীভবন সুন্দরভাবে দেখানো হইতে পারে।

বাষ্প ও বাষ্পীভবন :

কোন তরলের বায়বীয় অবস্থাকে উক্ত তরলের বাষ্প বলা হয় এবং যে-পদ্ধতিতে তরল বাষ্পে পরিণত হয় তাহাকে বাষ্পীভবন বলে। বাষ্পীভবন তিন রকমে হইতে পারে : (1) বাষ্পায়ন (2) স্ফুটন ও (3) ঊর্ধ্বপাতন।

বাষ্পায়নের ফলে শৈত্যের সঞ্চার হয় এবং ইহাকে প্রয়োগ করিয়া বরফ কল ও রেফ্রিজারেটার তৈয়ারী হয়।

তরলের স্ফুটন হইলে বাষ্পের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়।

প্রশ্নাবলী

1 পদার্থের গলন ও কঠিনীভবন কাহাকে বলে? প্লাটিনামের গলনাঙ্ক 1755°C বলিতে কি বুঝায়? পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক কি সমান?

[What are melting and solidification of a substance? What is meant by saying that the melting point of platinum is 1755°C? Are melting point and freezing point of a substance identical?]

2. মোমের গলনাঙ্ক নির্ণয় করিবে কিরূপে?

[How would you determine the melting point of paraffin?]

[*H S Exam 1961*]

3. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব কি? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

[What is the effect of pressure on melting point? Explain with illustrations]

4 পুনঃশিলীভবন কাহাকে বলে? পরীক্ষাগারে উহা দেখাইবার প্রণালী বর্ণনা কর।

[What is regelation? Describe a method to demonstrate it in the laboratory]

5 পুনঃশিলীভবন ব্যাখ্যা কর। ভারযুক্ত একটি তামার তার একখণ্ড বরফ কাটিয়া কিরূপে বাহির হয় তাহা ব্যাখ্যা কর। তামার তারের পরিবর্তে সাধারণ সুতা তে কি ঐরূপ হয়? তোমার উত্তরের কারণ বর্ণনা কর।

[Explain what you mean by regelation Explain how a copper wire carrying a load can pass through a block of ice Will the experiment succeed if an ordinary thread replaces the copper wire? Explain your answer]

6 জল জমিবার ফলে প্রচণ্ড বলে উদ্ভব হয় তাহা প্রদর্শন করিবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। ইহার সহিত পাহাড় গায়ে ফাটলের কি সম্পর্ক আছে?

[Describe an experiment to show that water exerts a great force while freezing What connection has it with the cracks found in the rocks?]

7 বাষ্পায়ন ও স্ফুটন কাহাকে বলে? উহাদের মধ্যে পার্থক্য কি?

[What are evaporation and boiling? What is the difference between them?]

[*H S (comp) 1961 '63*]

8 নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ:—(ক) গরমকালে পাখার হাওয়ায় আরাম বোধ হয় কেন? (খ) মাটির কুঁজায় জল রাখিলে জল ঠাণ্ডা হয় কিন্তু ধাতবপাত্রে রাখিলে হয় না কেন? (গ) ভিজা কাপড় গায়ে শুকানো ঠিক নয় কেন? (ঘ) শরৎকালে জানালায় খসখস টানানো হয় কেন? (ঙ) দুই টুকরা বরফকে এক সঙ্গে করিয়া চাপিলে জোড়া লাগে কেন? (চ) কোন বস্তুকে ঠাণ্ডা করিতে 0°C এর জল অপেক্ষা 0°C এর বরফ বেশি কার্যকর কেন? (ছ) 100°C তাপমাত্রার জলের সংস্পর্শে হাত যেরূপ দগ্ধ হয়, স্টীমের সংস্পর্শে দগ্ধ বেশী হয় কেন? (জ) কোন তরলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয়ে থার্মোমিটার বাল্ব তরলের সংস্পর্শে রাখা হয় না কেন?

[Answer the following questions :—(a) Why does a fan give a feeling of comfort during hot weather? (b) Why does water become colder when kept in an earthenware vessel than in a metal vessel in hot weather? (c) Why is it unwise to sit in a draught with wet clothes on? (d) Why *khas-khas* is used on windows in summer? [*H.S.* (*comp*) *1962*.] (e) Two blocks of ice when pressed together form a single mass.—Why? [*H. S.* (*comp*) *1960, 1962*] (f) Why is ice at 0°C a better cooling agent than water at 0°C? (g) Why does steam produce severe burns than hot water at 100°C? (h) In determining the boiling point of a liquid, why is the thermometer bulb kept a little above the liquid?]

9. কোন্ কোন্ কারণের উপর বাষ্পায়নের হার নির্ভর করে? বাষ্প ও গ্যাসের ভিতর পার্থক্য কি?

[What are the factors upon which the rate of evaporation depends? What is the difference between a gas and a vapour?]

10. স্ফুটনাঙ্ক কাহাকে বলে? তরলের উপরকার চাপের সহিত ইহার সম্পর্ক কি? পরীক্ষা দ্বারা তোমার উত্তরের ব্যাখ্যা কর।

What is boiling point? What is its relation with the pressure on the liquid? Explain your answer with illustration.]

11. স্ফুটনাঙ্কের উপর (i) চাপবৃদ্ধি এবং (ii) চাপ হ্রাসের ফলাফল প্রদর্শনের জন্য একটি করিয়া পরীক্ষা বর্ণনা কর। উহাদের প্রত্যেকের কিছু কিছু প্রয়োগ উল্লেখ কর।

[Describe one experiment each to show the effect of (i) an increased pressure, (ii) a reduced pressure on boiling point. Mention some applications of each.]

12. প্রমাণ কর যে তরলের স্ফুটন হইলে ঐ তরলের বাষ্পের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়।

[Prove that the vapour pressure of a liquid at its boiling point is equal to the atmospheric pressure.]

13. তরলের স্ফুটনাঙ্ক কোন্ কোন কারণের উপর নির্ভর করে? স্ফুটনের নিয়ম কি?

[What are the factors influencing the boiling point of a liquid? What are the laws of boiling?]

14. −10°C হইতে 100°C তাপমাত্রার পরিবর্তনে জলের আয়তনের কিরূপ পরিবর্তন হয় তাহা লেখচিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

[Explain, with the help of a graph, the changes of volume of water that take place due to a change of temperature from −10°C to 100°C.]

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প ও হাইগ্রোমিতি

(Water-vapour in atmosphere and Hygrometry)

6-1. বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের অবস্থিতি :

বায়ুমণ্ডলে সর্বদা কিছু পরিমাণ জলীয় বাষ্প বর্তমান থাকে। পুকুর, নদী, সমুদ্র প্রভৃতি হইতে সর্বদা প্রচুর পরিমাণ জল বাষ্পে পরিণত হইয়া বায়ুমণ্ডলে মিশিয়া যায়। কোন কোন দিন ইহার পরিমাণ বেশী থাকে, আবার কোন কোন দিন কম থাকে। আমাদের নিত্য অভিজ্ঞতা হইতেই আমরা ইহা বুঝিতে পারি। বর্ষাকালে সাধারণত বায়ু 'ভিজা' থাকে অর্থাৎ জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী থাকে এবং শীতকালে বায়ু 'শুষ্ক' হয় অর্থাৎ জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কমিয়া যায়।

বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের অবস্থিতির জন্য মেঘ, কুয়াশা, বৃষ্টি প্রভৃতি নানারূপ প্রাকৃতিক ঘটনা ঘটে। জলীয় বাষ্পের অবস্থিতির ফলে বায়ুমণ্ডলে যে-অবস্থার উদ্ভব হয় তাহার পর্যালোচনা করাই '**হাইগ্রোমিতি**'র উদ্দেশ্য।

হাইগ্রোমিতি পাঠের জন্য সংপৃক্ত বাষ্প ও অসংপৃক্ত বাষ্প সম্বন্ধে জ্ঞান থাকা প্রয়োজন। এইজন্য প্রথমে উক্ত বাষ্প সম্বন্ধে সংক্ষেপে প্রয়োজনীয় আলোচনা করা হইল।

6-2. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প (Saturated and unsaturated vapour) :

কোন তরলকে একটি আবদ্ধস্থানে রাখিয়া বাষ্পায়নের সুযোগ দিলে দেখা যায় যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রার উপর নির্ভর করিয়া ঐ স্থান যে-পরিমাণ বাষ্প ধারণ করিতে সক্ষম ততটা বাষ্প উত্থিত হইবার পর আর বাষ্পায়ন হয় না। নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা ঘটনাটি সুন্দররূপে দেখানো যাইতে পারে এবং ইহা হইতে সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্প সম্বন্ধে ধারণা স্পষ্টতর হইবে।

পরীক্ষা : A এবং B দুইটি ব্যারোমিটার নল। প্রথমে উহাদের পারদপূর্ণ করিয়া অপর একটি পারদপূর্ণ পাত্রে উপুড় করিয়া রাখা হইয়াছে। আমরা জানি যে সাধারণ অবস্থায় দুইটি নলেই পারদস্তম্ভের উচ্চতা সমান হইবে ; কারণ উভয় নলের পারদস্তম্ভই বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্দেশ করে। এখন একটি সরু বাঁকানো

কাচনলের [ইহাকে 'pipette' 'পিপেট') বলে] ভিতর জল লইয়া বাঁকানো মুখ B-নলের ভিতর প্রবেশ করাও এবং পিপেটের অপর প্রান্তে মুখ লাগাইয়া আস্তে আস্তে ফুঁ দাও। পারদ অপেক্ষা হালকা বলিয়া ফুঁ দিবার ফলে জল পারদস্তম্ভ ভেদ করিয়া টরিসেলির শূন্যস্থানে উপস্থিত হইবে। ঐ স্থানের চাপ খুব কম হওযার দরুন জল তৎক্ষণাৎ বাষ্পে পরিণত হইবে এবং B-নলের পারদস্তম্ভকে একটু নীচে নামিতে দেখা যাইবে। ইহার কারণ এই যে জলীয় বাষ্প পারদস্তম্ভের উপর কিছু চাপ প্রদান করে। পিপেটের সাহায্যে একটু একটু করিয়া জল প্রবেশ করাইতে থাকিলে দেখা যাইবে যে B-নলের পারদস্তম্ভও একটু একটু করিয়া নীচে নামিতেছে। এইভাবে চলিবার পর যখন পারদশীর্ষে একটু জল জমিবে তখন দেখা যাইবে যে পারদস্তম্ভ আর নামিতেছে না [চিত্র 6ক]। অর্থাৎ, জল আর বাষ্পে পরিণত হইতেছে না। তখন বলা হয় যে পারদশীর্ষের উপরিস্থ স্থান জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত (saturated) হইয়াছে।

B-নলে জল জমিবার পর পারদস্তম্ভ আর নামিবে না।

চিত্র 6ক

কাজেই **কোন আবদ্ধ স্থানে তরলের সংস্পর্শে বাষ্প থাকিলে ঐ বাষ্প সর্বদা সংপৃক্ত হয়**; কারণ তরলের উপস্থিতির মানেই এই যে ঐ আবদ্ধস্থান যে পরিমাণ বাষ্প ধারণ করিতে সক্ষম সেই সীমা উপস্থিত হইয়াছে। ঐ অবস্থায় বাষ্প তরলের উপর যে-চাপ প্রয়োগ করে নির্দিষ্ট তাপমাত্রার উপর নির্ভর করিয়া উহা সর্বোচ্চ (maximum)। A এবং B নলের পারদস্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতার পার্থক্য হইতে এই সর্বোচ্চ চাপ নির্ণয় করা যায় এবং ,হাকে **সংপৃক্ত বাষ্প চাপ** (saturated vapour-pressure) বলা হয়। সংপৃক্ত বাষ্পচাপকে অনেক সময় **জলীয় টান** (aqueous tension) বলা হয়।

উপরোক্ত কারণে তরলের সংপৃক্ত বাষ্প-চাপকে পারদস্তম্ভের উচ্চতা দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন, কোন তরলের বাষ্প-চাপ 25°C তাপমাত্রায় 30 mm. বলিতে আমরা বুঝি যে 25°C তাপমাত্রায় ঐ তরলের সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ 30 mm. উচ্চ পারদস্তম্ভের চাপের সমান।

B-নলে পারদশীর্ষের উপর জল জমিবার পূর্বে যে-কোনও সময় টরিসেলির শূন্যস্থানে যে-বাষ্প থাকিবে উহাকে **অসংপৃক্ত বাষ্প** (unsaturated vapour) বলা হইবে এবং উহা যে-চাপ প্রয়োগ করিবে তাহাকে **অসংপৃক্ত বাষ্প-চাপ** (unsaturated vapour-pressure) বলা হইবে।

এখন যদি উপযুক্ত ব্যবস্থার দ্বারা B-নলের টরিসেলীর শূন্যস্থানের তাপমাত্রা বাড়ানো যায় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে আরো জল বাষ্পীভূত হইতেছে—অর্থাৎ ঐ শূন্যস্থানের বাষ্প ধারণের ক্ষমতা বাড়িয়া গিয়াছে এবং সংপৃক্ত বাষ্প চাপও বাড়িয়া গিয়াছে।

সুতরাং উপরোক্ত পরীক্ষা হইতে আমরা নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ত করিতে পারি :—

(i) জলীয় বাষ্প চাপ প্রদান করিতে সক্ষম।

(ii) কোন আবদ্ধ স্থানের জলীয়-বাষ্প ধারণ করিবার একটি সর্বোচ্চ সীমা আছে ঐ সীমা উপস্থিত হইলে বাষ্পকে সংপৃক্ত বাষ্প বলে এবং উহার চাপকে সংপৃক্ত বাষ্প চাপ বলে।

(iii) তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে আবদ্ধ স্থানের জলীয়-বাষ্প ধারণের ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় এবং ঐ বাষ্পের চাপও বৃদ্ধি পায়।

6-3 সংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of saturated vapour) :

সংপৃক্ত বাষ্পের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য দেখা যায় :—

(1) একই তাপমাত্রায় বিভিন্ন তরলের সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ বিভিন্ন।

(2) সংপৃক্ত বাষ্প চাপ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত বৃদ্ধি পায়।

(3) সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ বয়েল বা চার্লস সূত্র- অর্থাৎ গ্যাসের সূত্র মানিয়া চলে না।

(4) যে-কোন তাপমাত্রায় কোন তরলের সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ অন্য কোন গ্যাস, বাষ্প বা বায়ুর উপস্থিতির দ্বারা প্রভাবান্বিত হয় না, যদি উহাদের ভিতর কোন রাসায়নিক ক্রিয়া না হয়।

অসংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of unsaturated vapour) :

অসংপৃক্ত বাষ্পের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করা যায় :—

(1) অসংপৃক্ত বাষ্প সাধারণ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

(2) ইহা বয়েল বা চার্লসের সূত্র—অর্থাৎ, গ্যাসের সূত্র মানিয়া চলে।

6-4. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের পার্থক্য :

(1) কোন আবদ্ধ স্থানে তরল সংলগ্ন বাষ্পকে ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত বাষ্প বলে এবং উহা যে চাপ প্রয়োগ করে তাহা সর্বোচ্চ। এই চাপকে সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ বলে। যদি কোন আবদ্ধ স্থানে কিছু বাষ্প থাকে কিন্তু কোন তরল পদার্থ না থাকে তবে ঐ বাষ্প অসংপৃক্ত হইতে পারে বা সম্ভ সংপৃক্তও হইতে পারে। যদি আবদ্ধস্থানের আয়তন সামান্ত হ্রাস করিলে কিছু বাষ্প তরলে পরিণত হয় তবে বুঝিতে হইবে যে উহা সম্ভ সংপৃক্ত—অন্তথায় অসংপৃক্ত।

(2) অসংপৃক্ত বাষ্পের তাপমাত্রা ঠিক রাখিয়া আয়তন পরিবর্তন করিলে বয়েলের সূত্রানুযায়ী উহার চাপের পরিবর্তন হয়। কিন্তু সংপৃক্ত বাষ্পের বেলাতে উহা হয় না, আয়তন হ্রাস করিলে কিছু বাষ্প তরলীভূত হয় এবং আয়তন বৃদ্ধি করিলে কিছু তরল বাষ্পীভূত হয় কিন্তু আবদ্ধ স্থান সর্বদা সংপৃক্ত থাকে—কাজেই চাপও অপরিবর্তিত থাকে।

(3) অসংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন ঠিক রাখিয়া তাপমাত্রা পরিবর্তন করিলে সূত্রানুযায়ী উহার চাপের পরিবর্তন হয়। কিন্তু সংপৃক্ত বাষ্পের বেলাতে যদিও তাপমাত্রার পরিবর্তনে সংপৃক্ত বাষ্প চাপের পরিবর্তন হয় তথাপি উহা চার্লসের সূত্রানুযায়ী হয় না।

(4) কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ অসংপৃক্ত বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি করিলে বা তাপমাত্রা হ্রাস করিলে উহাকে সংপৃক্ত বাষ্পে পরিণত করা যায়।

6-5. শিশিরাঙ্ক (Dew point) :

বায়ুমণ্ডলে যে জলীয় বাষ্প থাকে তাহা জমিবার ফলেই শিশির সৃষ্টি হয়। সাধারণ অবস্থায় বায়ুমণ্ডলে যে জলীয় বাষ্প থাকে তাহা দ্বারা বায়ুমণ্ডল সংপৃক্ত থাকে না। কিন্তু কোন কারণে বায়ুমণ্ডল ঠাণ্ডা হইলে সংপৃক্ত হইবার সম্ভাবনা ঘটে। রাত্রিবেলা বিকিরণ প্রভৃতি নানাকারণে ভূ-পৃষ্ঠ ঠাণ্ডা হইলে সঙ্গে সঙ্গে উহার সহিত যুক্ত বায়ুমণ্ডলও ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে এবং উহার আয়তন হ্রাস পায়। ফলে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ধারণের ক্ষমতা কমিয়া যায়। যখন তাপমাত্রা এমন অবস্থায় পৌছায় যে উক্ত জলীয় বাষ্প দ্বারা ঐ পরিমাণ বায়ুমণ্ডল সংপৃক্ত (saturated) হয় তখন তাপমাত্রা আর একটু কমিলেই কিছু জলীয় বাষ্প জমিয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলবিন্দুর আকার ধারণ করে। ইহাকেই আমরা **শিশির** বলি এবং ঐ তাপমাত্রাকে শিশিরাঙ্ক বলা হয়। সুতরাং যে-

তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু উহাতে অবস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হয় তাহাকে সেই অবস্থায় বায়ুর শিশিরাঙ্ক বলা হয়।

বিকল্পে একথাও বলা যাইতে পারে যে তাপমাত্রা যখন শিশিরাঙ্কে পৌঁছায় তখন বায়ুমণ্ডলস্থ জলীয় বাষ্প দ্বারা বায়ুমণ্ডল সংপৃক্ত হয়।

পরীক্ষা: একটি কাচেব গ্লাসে ঠাণ্ডা জল ঢাল ও উহাব মধ্যে একটি থার্মোমিটাব ঢুকাও। এইবার ছোট একখণ্ড বরফ টুক্‌বা ঐ জলে ফেলিয়া নাড়িতে থাক। টুক্‌বাটি গলিয়া গেলে আব এক টুক্‌বা ফেল। এইভাবে পবীক্ষা কবিলে দেখিবে যে এক সময় গ্লাসেব চতুর্দিকে ধোঁয়াব মত শিশিব জমিয়াছে। যে মুহূর্তে শিশিব জমিবে তখন থার্মোমিটাবে তাপমাত্রা পড়। এইবাব ববফ দেওয়া বন্ধ কবিয়া জল নাড়িতে থাক। পবিপার্শ্ব হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া গ্লাস ধীবে ধীবে গবম হইবে। যে মুহূর্তে শিশির অদৃশ্য হইবে তখনকাব তাপমাত্রা পড। এই দুই তাপমাত্রাব গড মোটামুটি ঐ সময়কাব শিশিবাঙ্কেব সমান।

6 6 আর্দ্রতা ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Humidity and Relative humidity):

বায়ুতে কি পবিমাণ জলীয় বাষ্প আছে বায়ুব আর্দ্রতা তাহাই বুঝায়।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা বায়ুব সংপৃক্তভাব মাত্রা (degree of saturation) প্রকাশ করে। কোন তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনেব বায়ুতে যে পবিমাণ জলীয় বাষ্প আছে এবং ঐ তাপমাত্রায় ঐ আয়তনেব বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে যে পবিমাণ জলীয় বাষ্পেব প্রয়োজন এই দুই-এব অনুপাতকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে। সুতরাং,

$$\text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{ঐ তাপমাত্রায় ঐ বায়ুকে সংপৃক্ত কবিতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

যেহেতু জলীয় বাষ্পের ভব উহাব চাপেব সমানুপাতিক, সুতবাং আপেক্ষিক আর্দ্রতাকে নিম্নলিখিত উপায়েও বলা যাইতে পাবে:

$$\text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনেব বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পব চাপ}}{\text{ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

তাছাড়া আমরা জানি, যে-কোন তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে জলীয় বাষ্প থাকে শিশিরাঙ্কে উক্ত বায়ু ঐ জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হয়। অর্থাৎ, নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান। সুতরাং আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপরোক্ত অনুপাতকে লেখা যাইতে পারে যে,

$$\text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ু তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

আপেক্ষিক আর্দ্রতাকে সাধারণত বায়ুর সংপৃক্ততার শতকরা (percentage) হিসাবে প্রকাশ করা হয়। উপরোক্ত তিনটি সংজ্ঞার যে-কোনটিকে 100 দ্বারা গুণ করিলে আপেক্ষিক আদ্রতার শতকরা হিসাব মিলিবে।

6-7 দৈনন্দিন জীবনে আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রভাব :

বায়ুমণ্ডল শুষ্ক কি আর্দ্র এই অনুভূতি এবং তজ্জনিত আরাম বা অস্বস্তিবোধ শুধু বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। কারণ বায়ুতে উপস্থিত জলীয়-বাষ্প তাপমাত্রার উপর নির্ভর করিয়া ঐ বায়ুকে সংপৃক্ত রাখিতে পারে আবার খুব অসংপৃক্ত ও রাখিতে পারে। ঐ অনুভূতি আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। এইজন্য আমাদের দৈনন্দিন জীবনে আপেক্ষিক আর্দ্রতার যথেষ্ট প্রভাব আছে। নিম্নে কয়েকটি উদাহরণ দ্বারা ইহা বুঝানো হইল।

(ক) দুইটি ঘরের তাপমাত্রা এক হইলেও আপেক্ষিক আদ্রতার প্রভেদের জন্য দুই ঘরে আরাম বোধ বিভিন্ন হয়। যে ঘরের আপেক্ষিক আদ্রতা বেশী সেই ঘরে বেশী কষ্ট বোধ হইবে। ইহার কারণ এই যে উক্ত ঘরের বায়ুতে বেশী পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকায় আমাদের দেহ হইতে ঘাম বাষ্পীভূত হইবার সুযোগ পায় না। ঘাম দ্রুত বাষ্পীভূত হইলে দেহ শীতল হয় এবং আরাম বোধ হয়।

এই প্রসঙ্গে প্রশ্ন তোলা যাইতে পারে যে কোন ঘরের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহার শিশিরাঙ্ক এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতার কি পরিবর্তন হইবে? তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে শিশিরাঙ্কের বৃদ্ধি হইবে, কারণ শিশিরাঙ্ক বলিতে আমরা বুঝি যে তাপমাত্রায় ঘরের বায়ুতে উপস্থিত জলীয়-বাষ্পচাপ সংপৃক্ত বাষ্প-চাপের সমান হয়। যেহেতু তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে সংপৃক্ত জলীয়-বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পায়

সেই হেতু শিশিরাঙ্কের বৃদ্ধি হইবে। কিন্তু তাপমাত্রা বৃদ্ধি হওয়ার দরুন আপেক্ষিক আর্দ্রতা হ্রাস পাইবে। আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি যে উহা নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয়-বাষ্পের ভর এবং ঐ তাপমাত্রায় ঐ বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে প্রয়োজনীয় জলীয়-বাষ্পের ভরের অনুপাতের সমান। এখন, বর্ধিত তাপমাত্রায় বায়ুকে সংপৃক্ত করিবার জন্য বেশী পরিমাণ জলীয়-বাষ্পের প্রয়োজন। কাজেই উপরোক্ত অনুপাতের হর (denominator) বৃদ্ধি পাইতেছে, কিন্তু লব (numerator) ঠিকই থাকিতেছে। কাজেই আপেক্ষিক আর্দ্রতা কমিয়া যাইবে।

(খ) ভিজা কাপড় বর্ষাকালের চাইতে শীতকালে দ্রুত শুকায় যদিও শীতকালে তাপমাত্রা অনেক কম থাকে। ইহার কারণ আপেক্ষিক আর্দ্রতা। শীতকালে আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম থাকায় অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকায় ভিজা কাপড় হইতে জল দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইবার সুযোগ পায়। বর্ষাকালে তাহা হয় না, কারণ বর্ষাকালে বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ খুব বাড়িয়া যায়।

(গ) শীতকালে গায়ের চামড়া, ঠোঁট প্রভৃতি ফাটিয়া যায়। ইহার কারণ শীতকালের নিম্ন আপেক্ষিক আর্দ্রতা।

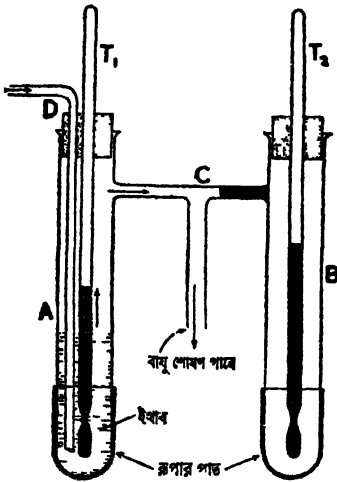
(ঘ) পুরী এবং দিল্লীতে কোন দিন একই তাপমাত্রা থাকিলেও পুরী অপেক্ষা দিল্লী অনেক আরামপ্রদ মনে হইবে। সমুদ্রের কাছে বলিয়া পুরীর বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা অনেক বেশী। সুতরাং পুরীতে গায়ের ঘাম দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইতে পারে না এবং তাহার ফলে অস্বস্তি বোধ হয়।

প্রতি দিনের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নানাকারণে জানিবার প্রয়োজন হয়। দেখা গিয়াছে যে আপেক্ষিক আর্দ্রতা 50-60% হইলে আমরা বিশেষ অস্বস্তি অনুভব করি না। উহার বেশী হইলেই দেহে ঘাম হয় এবং আমরা অস্বস্তি অনুভব করি। আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশী হইলে বৃষ্টির সম্ভাবনা থাকে। সেইজন্য আবহাওয়া অফিস আপেক্ষিক আর্দ্রতার হিসাব রাখে এবং বেতার ও সংবাদপত্রে উহা ঘোষণা করে। কার্পাস প্রভৃতি কয়েকটি শিল্পে বায়ুর আর্দ্রতার জ্ঞান থাকা প্রয়োজন কারণ দেখা গিয়াছে যে আর্দ্র বায়ু ঐ সকল বস্ত্রশিল্পে সহায়তা করে। কতগুলি রোগের জীবাণু আর্দ্র আবহাওয়ায় বংশ বৃদ্ধি করে বলিয়া স্বাস্থ্য বিভাগ বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার হিসাব রাখে। নিরাপদে বিমান চালনার জন্য বিমান চালককে আর্দ্র বায়ুর অঞ্চল এড়াইয়া

যাইতে হয় ; এইজন্য বিমান চালনার জন্য আপেক্ষিক আর্দ্রতার জ্ঞান বিশেষ প্রয়োজন।

6-8. Regnault's হাইগ্রোমিটার :

যে যন্ত্রের দ্বারা কোন সময়ের শিশিরাঙ্ক ও তাহা হইতে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায় তাহাকে হাইগ্রোমিটার বলে। নানারকমের হাইগ্রোমিটার আছে। ইহাদের মধ্যে Regnault's হাইগ্রোমিটার বিশেষ উল্লেখযোগ্য।

A এবং B দুইটি মোটা কাচের টেস্ট টিউব C-নল দ্বারা সংযুক্ত (6খ নং চিত্র)। টেস্ট টিউব দুইটির তলার খানিকটা অংশ পাতলা রূপার চকচকে পাত দিয়া তৈয়ারী। T_1 এবং T_2 দুইটি থার্মোমিটার। A-নলের কিছু অংশ ইথার দ্বারা পূর্ণ, কিন্তু B-নলে কোন তরল নাই। হাওয়া ঢুকিবার জন্য A-নলে একটি বাকানো সরু কাচনল-D ইথারে ডুবানো থাকে। সংযোগকারী C-নল হইতে আর একটি নল রবার টিউবের সাহায্যে একটি বায়ুশোষণ পাত্রের (aspirator) সহিত সংযুক্ত। C নলের যে-অংশ B-টেস্ট টিউবের সহিত যুক্ত তাহা সম্পূর্ণরূপে বন্ধ এবং ঐ পথে B-নলে কোন বায়ু প্রবেশ করিতে পারে না।

Regnault's হাইগ্রোমিটার
চিত্র 6খ

এখন, বায়ুশোষণ পাত্রের (ইহা আর কিছুই নয়—একটি প্যাঁচকলযুক্ত জলাধার) প্যাঁচকল খুলিয়া দিলে জল বাহির হইয়া যাইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে বায়ু টানিয়া লইবে) দ্বারা A-নলের বায়ু টানিয়া লইলে বাহির হইতে বায়ু বাঁকানো কাচনল-D-এর সাহায্যে ইথারের ভিতর দিয়া A-নলে প্রবেশ করিবে। ইহার ফলে ইথার দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইবে এবং শৈত্যের সৃষ্টি করিবে। সুতরাং A-নলের রূপার অংশ দ্রুত ঠাণ্ডা হইবে এবং ইহার সংস্পর্শে যে-বায়ু আছে তাহাও ঠাণ্ডা হইবে। ক্রমশ ঠাণ্ডা হইবার ফলে বায়ুতে যে জলীয় বাষ্প আছে তাহা শিশিরবিন্দুরূপে রূপার উপর জমিবে এবং A-নলের রূপার

উজ্জলতা B-নলের চাইতে কম দেখাইবে। সেই সময়ে T_1 থার্মোমিটারে তাপমাত্রা দেখ। এইবার বায়ুশোষণ যন্ত্র বন্ধ কর। A-নল ধীরে ধীরে গরম হইবে এবং শিশির অদৃশ্য হইবে। সেই সময় পুনরায় T_1 থার্মোমিটারে তাপমাত্রা পড়। এই দুই তাপমাত্রার গড় লইলে তখনকার শিশিরাঙ্ক পাওয়া যাইবে। ডানদিকের B-নলে কোন তরল না থাকায় ইহার রুপার অংশ সর্বদা চকচকে থাকে। ফলে ইহার সহিত তুলনামূলকভাবে A-নলকে পরীক্ষা করিবার সুবিধা হয়। তাছাড়া T_2 থার্মোমিটার হইতে ঘরের তাপমাত্রা পাওয়া যায়।

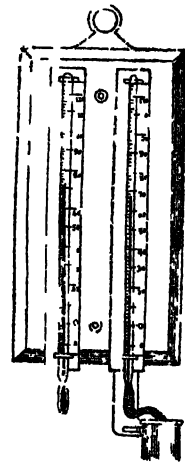
ধরা যাউক, শিশিরাঙ্ক t C এবং T_2 থার্মোমিটার হইতে ঘরের যে তাপমাত্রা পাওয়া গেল তাহা T°C. Regnault কর্তৃক নির্মিত সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের (saturation vapour-pressure) তালিকা হইতে t°C এবং T°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় কর। ধর, উহারা যথাক্রমে f এবং F. অতএব,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{t\text{ C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ}}{T\text{°C} \quad " \quad " \quad " \quad "} \times 100\%$$

$$= \frac{f}{F} \times 100\ \%$$

6-9. আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড হাইগ্রোমিটার (Wet and dry bulb hygrometer) :

এই হাইগ্রোমিটারের সাহায্যে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা সম্বন্ধে দ্রুত মোটামুটি ধারণা করা যাইতে পারে এবং নির্ভুল পরিমাপও করা যাইতে পারে।

6গ নং চিত্রে এই হাইগ্রোমিটারের ছবি দেখানো হইল। দুইটি থার্মোমিটার পাশাপাশি একটি ফ্রেমে আবদ্ধ থাকে। ডান দিকের থার্মোমিটারের কুণ্ড একখণ্ড মসলীন দ্বারা আবৃত রাখা হয় এবং মসলীনের এক প্রান্ত একটি পাত্রস্থিত জলে ডুবানো থাকে। জল মসলীন বাহিয়া উঠিয়া থার্মোমিটার কুণ্ডকে সর্বদা ভিজা রাখে। সুতরাং ইহাকে আর্দ্রকুণ্ড বলা যাইতে পারে। বাঁ দিকের থার্মোমিটার সর্বদা শুষ্ক থাকায় ইহাকে শুষ্ক কুণ্ড বলা হয় এবং এই থার্মোমিটার হইতে ঘরের তাপমাত্রা পাওয়া যায়।

আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড
হাইগ্রোমিটার
চিত্র 6গ

আর্দ্রকুণ্ডের মসলীন হইতে জল সর্বদা বাষ্পে পরিণত হইবে এবং ঘরের আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর ইহার দ্রুততা নির্ভর করিবে। জল বাষ্পে পরিণত হইতে প্রয়োজনীয় লীন-তাপ থার্মোমিটার কুণ্ড হইতে গ্রহণ করিবে এবং তাহার ফলে ঐ থার্মোমিটারের পাঠ বাঁ দিকের থার্মোমিটার হইতে কম হইবে।

যদি কোন সময়ে দুই থার্মোমিটার পাঠের খুব পার্থক্য দেখা যায় তবে বুঝিতে হইবে যে তখনকার আপেক্ষিক আর্দ্রতা খুব কম অর্থাৎ বায়ু খুব শুষ্ক। কারণ বায়ু শুষ্ক থাকিলে জল দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইবে এবং আর্দ্র কুণ্ড খুব বেশী ঠাণ্ডা হইবে। আর যদি দুই থার্মোমিটার পাঠের খুব পার্থক্য না থাকে তবে আপেক্ষিক আর্দ্রতা খুব বেশী অর্থাৎ বায়ুতে যথেষ্ট জলীয় বাষ্প বর্তমান, কারণ ঐ অবস্থায় জল মোটেই বাষ্পীভূত হইবে না। সুতরাং আর্দ্রকুণ্ড বিশেষ ঠাণ্ডা হইবে না। এইভাবে দুই থার্মোমিটার পাঠ লক্ষ্য করিয়া তখনকার আপেক্ষিক আর্দ্রতা সম্বন্ধে ধারণা করা যায়। তাছাড়া আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড তালিকা (wet and dry bulb table) নামক একটি তালিকার সাহায্যে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ভুলভাবেও নির্ণয় করা যায়। এই যন্ত্র আবহাওয়া অফিসে খুব বেশী ব্যবহৃত হয়।

জলীয় বাষ্পের চাপের তালিকা
[রেনোর তালিকা]

[চাপ মিলিমিটার পারদে এবং তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেডে প্রকাশ করা হইয়াছে।]

তাপমাত্রা	চাপ	তাপমাত্রা	চাপ	তাপমাত্রা	চাপ
0°	4·6	11°	9·8	22°	19·6
1°	4·9	12°	10·1	23°	20·9
2°	5·3	13°	11·1	24°	22·2
3°	5·7	14°	11·9	25°	23·5
4°	6·1	15°	12·7	26°	25·0
5°	6·5	16°	13·5	27°	26·5
6°	7·0	17°	14·4	28°	28·1
7°	7·5	18°	15·3	29°	29·9
8°	8·0	19°	16·3	30°	31·5
9°	8·5	20°	17·4	35°	41·8
10°	9·1	21°	18·5	40°	54·9

উদাহরণ :

(1) কোন একদিন বায়ুর তাপমাত্রা 14°C এবং শিশিরাঙ্ক 8°C হইল। ঐ দিনের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় কর। (8°C ও 14°C-এ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে 8 mm. এবং 12 mm. of Hg.)

[On a certain day, the temperature was found to be 14°C and the dew-point 8°C. Saturation vapour pressures at 8°C and 14°C are respectively 8 mm. and 12 mm. of Hg. Calculate the relative humidity on that day]

উ। আমরা জানি,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{8°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{14°C} \quad ,, \quad ,, \quad ,, \quad ,, \quad ,,} \times 100\%$$

$$= \frac{8}{12} \times 100 = 66.6\%$$

(2) কোন দিনের শিশিরাঙ্ক 12 C এবং বায়ুর তাপমাত্রা 25 C দেখা গেল। 12 C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 10 4 mm হইলে ঐ দিন বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় কর।

[On a certain day, the dew-point and the room-temperature were 12 C and 25 C respectively. If the saturation vapour pressure at 12 C be 10 4 mm calculate the pressure of the vapour present in the atmosphere on that day]

উ। শিশিরাঙ্কের সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি যে ঘরের তাপমাত্রায় বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে শিশিরাঙ্কে উক্ত বায়ু ঐ জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইয়া পড়ে। অর্থাৎ, ঘরের তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান হইয়া পড়ে। যেহেতু শিশিরাঙ্ক 12°C এবং ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 10 4 mm দেওয়া আছে, সুতরাং ঐ দিন ঘরের তাপমাত্রায় বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ 10 4 mm.

(3) একটি নির্দিষ্ট দিনে বায়ুর তাপমাত্রায় 16 5 C এবং শিশিরাঙ্ক 12°C . 12 C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 1 046 cm , 16°C তাপমাত্রায় 1 364 cm. এবং 17°C তাপমাত্রায় 1 412 cm , ঐ দিনের আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত ?

[The dew-point and the temperature on a certain day were respectively 12°C and 16·5°C. The saturation vapour pressures at 12°C, 16°C and 17°C are respectively 1·046 cm. 1·364 cm. and 1·442 cm. What is the relative humidity on that day ?]

উ। 16°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 1·364 cm.

17°C „ „ „ „ „ = 1·442 „

সুতরাং, 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে চাপ বৃদ্ধি = 1·442 − 1·364 = ·078 cm

·5°C „ „ „ „ = ·078 × ·5 cm.

= ·0390 cm

সুতরাং, 16·5°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 1·364 + ·039

= 1·403 cm

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{ঘরের তাপমাত্রায় ,, ,, ,,}} \times 100\%$$

$$= \frac{1·046}{1·403} \times 100\% = 74·5 \quad (\text{প্রায়})$$

(4) কোনও সময় তাপমাত্রা 15°C এবং শিশিরাঙ্ক 8°C। যদি তাপমাত্রা কমিয়া 10°C হয় তবে শিশিরাঙ্ক পরিবর্তিত হইয়া কত হইবে? 7°C এবং 8°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয়-বাষ্পের চাপ যথাক্রমে 7·49 mm এবং 8·02 mm.

[The temperature at a time is 15°C and the dew-point is 8°C. If the temperature fall to 10°C, how will be the dew-point modified ? The saturation vapour pressures at 7°C and 8°C are respectively 7·49 and 8·02 mm.]

উ। বায়ু অসংপৃক্ত হওয়ায় চার্লসের সূত্র মানিয়া চলিবে,

অর্থাৎ, $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ বা $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$

বা, $\frac{10°C \text{ এ বায়ু চাপ}}{15°C \text{ ,,}} = \frac{10+273}{15+273} = \frac{283}{288}$

কিন্তু 15°C-এ বায়ু চাপ = 8°C (শিশিরাঙ্ক)-এ সংপৃক্ত বায়ু চাপের সমান

= 8·02 mm

$$10°C \text{ এ বায়ু চাপ} = \frac{283}{288} \times 8·02 = 7·88 \text{ mm} \quad (\text{প্রায়})$$

এখন নির্ণয় করিতে হইবে যে কোন্ তাপমাত্রায় 7·88 mm. চাপ হইবে সংপৃক্ত বায়ুচাপের সমান। তাহা হইলে ঐ তাপমাত্রাই হইবে নূতন শিশিরাঙ্ক।

এখন দেখা যাইতেছে যে 1°C তাপমাত্রা পরিবর্তনে চাপ পরিবর্তন $=(8·02-7·49)=0·53$ mm., সুতরাং $(8·02-7·88)=0·14$ mm. চাপ পরিবর্তনের জন্য প্রয়োজনীয় তাপমাত্রার পরিবর্তন

$$=\frac{0·14}{0·53}=\frac{1}{4}\,°C \text{ (প্রায়)}$$

কাজেই, 10°C তাপমাত্রায় শিশিরাঙ্ক $\frac{1}{4}$°C কমিয়া যাইবে অর্থাৎ $(8-\frac{1}{4})$ $=7\frac{3}{4}$°C হইবে।

6 10. বায়ুমণ্ডলস্থিত জলীয় বাষ্পের ঘনীভবন (Condensation of water-vapour present in atmosphere) :

নানাকারণে এবং নানা অবস্থায় বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয় এবং তাহার ফলে শিশির, কুয়াশা, মেঘ প্রভৃতির সৃষ্টি হয়

শিশির (Dews) ; **কুয়াশা** (Fog) ও **কুহেলিকা** (Mist) :

রাত্রিবেলা ভূ-পৃষ্ঠ তাপ বিকিরণ করিয়া ঠাণ্ডা হয়। এই বিকীর্ণ তাপ বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া গেলেও বায়ুমণ্ডল তাহাতে উত্তপ্ত হয় না। কিন্তু ভূ-পৃষ্ঠ সংলগ্ন বায়ু ভূ-পৃষ্ঠের সহিত ক্রমশ ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। যখন বায়ু ঠাণ্ডা হইতে হইতে শিশিরাঙ্কে পৌঁছায় তখন বায়ুর তাপমাত্রা আর একটু কমিলেই বায়ুস্থ জলীয় বাষ্প ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার আকারে ঘাস, পাতা প্রভৃতির উপর জমা হয়। ইহাকেই **শিশির** বলা হয়। শরৎকালে ভোরবেলা গাছের পাতা ও ঘাসে যথেষ্ট শিশির জমা হইতে দেখা যায়।

নিম্নলিখিত অবস্থাগুলি প্রচুর পরিমাণ শিশির জমিবার সহায়তা করে :

(1) **মেঘহীন পরিষ্কার আকাশ**—আকাশে মেঘ না থাকিলে বিকীরণের দরুন ভূ-পৃষ্ঠ দ্রুত ঠাণ্ডা হইতে পারে। বিকীর্ণ তাপ মেঘ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় ভূ-পৃষ্ঠে ফিরিয়া আসিবার সম্ভাবনা থাকে না। তাই মেঘহীন পরিষ্কার আকাশ শিশির জমিবার পক্ষে সহায়ক।

(2) **কম বায়ু চলাচল**—বায়ু চলাচল কম থাকিলে, কোন ঠাণ্ডা বস্তুর সংস্পর্শে বায়ু বেশীক্ষণ থাকিতে পারে। তাহাতে বায়ুমণ্ডল ঠাণ্ডা হইয়া শিশিরাঙ্কে পৌঁছিবার সুবিধা হয় এবং শিশির জমিবার সহায়তা করে।

(3) **বায়ুমণ্ডলে প্রচুর জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি**—বায়ুমণ্ডলের প্রাথমিক আর্দ্রতা খুব বেশী থাকিলে, অল্প ঠাণ্ডা হইবার ফলেই শিশির জমিতে পারে।

(4) তাপের ভাল বিকিরক এবং কুপরিবাহী বস্তুর সান্নিধ্য—ঐ ধরনের বস্তু দ্রুত তাপ ত্যাগ করিয়া ঠাণ্ডা হইতে পারে এবং বায়ুকে শিশিরাঙ্কে পৌঁছাইয়া দিতে পারে। ঐ বস্তুগুলি ভূ-পৃষ্ঠের নিকটবর্তী হওয়া প্রয়োজন কারণ উঁচুতে থাকিলে বায়ু ঠাণ্ডা হইয়া ভারী হইবে এবং নীচে চলিয়া যাইবে এবং উপর হইতে অপেক্ষাকৃত গরম ও হাল্কা বায়ু ঐ স্থান অধিকার করিবে। ফলে বায়ু চলাচলের সৃষ্টি হইয়া শিশির জমিবার বিঘ্ন ঘটাইবে। এই কারণে বড় গাছের পাতায় শিশির না জমিয়া ঘাসে বা কচুর পাতা ইত্যাদিতে শিশির জমিতে দেখা যায়।

যদি কোন কারণে বায়ুমণ্ডলের বিস্তীর্ণ অঞ্চলের তাপমাত্রা হ্রাস পাইয়া শিশিরাঙ্কের নীচে নামিয়া আসে তবে উক্ত বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার আকারে বায়ুমণ্ডলে ভাসমান ধূলিকণা, কয়লার গুঁড় প্রভৃতি আশ্রয় করিয়া ভাসিতে থাকে। ইহাকেই **কুয়াশা** বা **কুহেলিকা** বলে। সাধারণত ভিজা মাটির তাপমাত্রা বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশী হইলে এরূপ কুয়াশার সৃষ্টি হয়। শীতকালে প্রায়ই সকালে কুয়াশা দেখিতে পাওয়া যায়। সাধারণত কুয়াশা স্থলের উপর এবং কুহেলিকা জলের উপর সৃষ্টি হয়। দুপুরের দিকে কুয়াশা শেষ হইয়া যায় কারণ তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে জলকণাগুলি বাষ্পীভূত হয় এবং বায়ুমণ্ডল অসংপৃক্ত হইয়া পড়ে।

মেঘ ও বৃষ্টি (Clouds and rains) :

জলীয় বাষ্পপূর্ণ বায়ু কোন কারণে হাল্কা হইয়া যখন উপরে উঠে তখন সেখানে চাপ-হ্রাসের দরুন উহার আয়তনের বিস্তার হয়। এই কারণে ইহা ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। এইভাবে ঠাণ্ডা হইবার ফলে যখন বায়ুর তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কের নীচে নামিয়া যায় তখন ইহার জলীয় বাষ্প ভাসমান ধূলিকণাকে আশ্রয় করিয়া জলবিন্দুর আকারে ভাসিতে থাকে। উহাকেই আমরা **মেঘ** বলি। সুতরাং কুয়াশা ও মেঘের ভিতর কার্যত কোন তফাৎ নাই। কুয়াশা নিম্নস্তরে সৃষ্টি হয় এবং মেঘ উচ্চস্তরে সৃষ্টি হয়।

যখন মেঘের জলকণাগুলি ভাসিতে ভাসিতে পরস্পর সংযুক্ত হইয়া বড় বড় বিন্দুতে পরিণত হয় তখন উহারা নীচের দিকে পড়িতে শুরু করে। এই সময় যদি জলবিন্দুগুলি কোন শুষ্ক ও উষ্ণ বায়ুস্তরের ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় তবে পুনরায় বাষ্পীভূত হইয়া উপরের দিকে চলিয়া যায়। আর যদি আর্দ্র বায়ুস্তরের

ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় তবে আর বাষ্পীভূত হয় না ; বরং বিন্দুগুলি আকারে বৃদ্ধি পায় এবং যথেষ্ট ভারী হয়। তখন উহা বৃষ্টির আকারে ভূ-পৃষ্ঠে পড়ে।

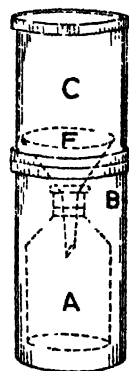
মেঘের জলবিন্দুগুলি অনবরত এক ভাঙ্গা-গড়ার প্রণালীর ভিতর দিয়া চলে। কখনও বা কতগুলি বিন্দু মিলিয়া বড় বিন্দুব সৃষ্টি হয়, আবার কখনও বা বড় বিন্দু ভাঙ্গিয়া ছোট ছোট বিন্দুতে পরিণত হয়। একটি বিন্দু যখনই ভাঙ্গিয়া যায় তখনই উহাব তড়িতাধানের পৃথকীকরণ হয। বজ্রবিদ্যুৎপূর্ণ ঝড়বৃষ্টিতে বিদ্যুতের উপস্থিতির সম্ভবত ইহাই একটি প্রধান উৎস। তাই বজ্র-বিদ্যুতের পরই প্রবল বারিপাত হইতে দেখা যায়।

বারিপাতমাপক যন্ত্র (Rain gauge) :

কোন দিন বৃষ্টিপাত হইলে পরেব দিন সংবাদপত্রে তোমরা লক্ষ্য করিযা থাকিবে যে আবহাওযা সংবাদে লেখা আছে গতকল্য 'কযেক ইঞ্চি বারিপাত হইযাছে'। এই ধরনের বারিপাত বিষযক সংবাদ আবহাওযা অফিস হইতে সংবাদপত্রে এবং বেতারে প্রচাব কবা হয। বারিপাত মাপিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয তাহা ৬৬ নং চিত্রে দেখানো হইযাছে।

F-এক কাচের চুঙি বা ফানেল। ইহাব মুখের ব্যাস পাঁচ বা আট ইঞ্চির সমান। ইহা একটি কাচেব বোতল-A-এর মুখে বসানো। ফানেলের মুখে যে-বৃষ্টির জল পড়িবে তাহা A-বোতলে জমা হইবে। আঘাত লাগিযা বোতলটি যাহাতে ভাঙ্গিযা না যাইতে পারে এইজন্য উহাকে একটি তামার পাত্র B-এব মধ্যে বসানো হয়। ফানেলেব উপর বৃষ্টিব জল পড়িবা যাহাতে ছিটকাইযা বাহিবে না পড়িতে পাবে এইজন্য B পাত্রের উপর আর একটি পাত্র C রাখা থাকে। C-পাত্রের উপরের মুখেব কানা খুব ক্ষুরধার হওযায় মাপা নির্ভুল হয়। বারিপাত মাপিবার সময় যন্ত্রটিকে উন্মুক্ত স্থানে এমনভাবে রাখা হয় যে মাটি হইতে C-পাত্রের উপরের মুখের উচ্চতা প্রায় এক ফুট পরিমাণ হয। বৃষ্টির জল ফানেলেব মুখে পড়িয়া A-পাত্রে জমা হয়। A-পাত্রের গাযে ইঞ্চি-দাগ কাটা থাকে। তাহা হইতে সরাসরি বোঝা যায় যে কত ইঞ্চি বারিপাত হইল। যেমন 'দুই ইঞ্চি বারিপাত হইল' এই উক্তি হইতে বোঝা যায় বৃষ্টির জলকে ফানেলের সমান ব্যাসবিশিষ্ট কোন চোঙে রাখিলে উহার উচ্চতা দুই ইঞ্চি হইবে।

বারিপাতমাপক যন্ত্র

চিত্র ৬৬

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে আসাম প্রদেশের চেরাপুঞ্জি নামক স্থানে পৃথিবীর ভিতর সর্বাপেক্ষা বেশী বারিপাত হয়। চেরাপুঞ্জিতে বারিপাতের পরিমাণ বৎসরে প্রায় 500 ইঞ্চি।

তুষার ও শিলা (Snow and hails) :

খুব ঠাণ্ডার ফলে বায়ুর জলীয় বাষ্প বরফে পরিণত হয় এবং বায়ুমণ্ডলে ভাসিতে থাকে এবং বৃষ্টির আকারে ঝির্ ঝির্ করিয়া ভূ-পৃষ্ঠে পতিত হয়। ইহাকে **তুষারপাত** বলে। মেরুপ্রান্তে প্রায়ই এবং শীতকালে পাহাড়ী জায়গায় তুষারপাত হইয়া থাকে।

যদি বৃষ্টির ফোঁটা পড়িবার সময় উহা কোথাও খুব ঠাণ্ডা বায়ুর সংস্পর্শে আসে তবে ফোঁটাগুলি জমিয়া বরফের টুকরাতে পরিণত হয় এবং টুকরাগুলি বৃষ্টির আকারে পড়িতে থাকে। ইহাকেই **শিলাবৃষ্টি** বলে। শিলা ছোট-বড় নানা আকারের দেখিতে পাওয়া যায়।

সারাংশ

বায়ুমণ্ডলে সর্বদা কিছু জলীয় বাষ্প বর্তমান থাকে। বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতির ফলে মেঘ, কুয়াশা প্রভৃতি নানারূপ প্রাকৃতিক ঘটনার সৃষ্টি হয়।

শিশিরাঙ্ক : যে-তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু উহাতে উপস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হয় তাহাকে সেই অবস্থায় বায়ুর শিশিরাঙ্ক বলা হয়।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা : কোন তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে এবং ঐ তাপমাত্রায় ঐ আয়তনের বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে যে-পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন—এই দুই-এর অনুপাতকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে।

বায়ুমণ্ডল শুষ্ক কি আর্দ্র এই অনুভূতি এবং তাহার ফলে আরাম ও অস্বস্তিবোধ বায়ুমণ্ডলের আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয়ের জন্য দুই প্রকার যন্ত্র ব্যবহার করা যাইতে পারে। যথা :

(1) Regnault's হাইগ্রোমিটার ও (2) শুষ্ক ও আর্দ্র কুণ্ড হাইগ্রোমিটার।

নানাকারণে তাপমাত্রা কমিয়া গেলে বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয় এবং তাহার ফলে শিশির, কুয়াশা, মেঘ, বৃষ্টি প্রভৃতির সৃষ্টি হয়।

প্রশ্নাবলী

1. সম্পৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের ভিতর পার্থক্য কি? ঘরের তাপমাত্রায় জলীয় টান নির্ণয় করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[Distinguish between saturated and unsaturated vapours. Devise a simple experiment by which the aqueous tension at room temperature may be determined.] [*H. S. Exam.*, *1961*]

2. শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা বুঝাইয়া দাও।

[Explain the terms 'dew-point' and 'relative humidity'.] [*P. U. 1962*]

3. শিশিরাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ। ইহা নির্ণয়ের পর ইহা কি কাজে লাগে? বায়ুর তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কের সমান হইলে বায়ুমণ্ডলের অবস্থা কিরূপ হয়? কোন ঘরের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহা (i) শিশিরাঙ্ক এবং (ii) আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর কি প্রভাব বিস্তার করিবে?

[Define 'Dew point'. Of what use is it when it has been found? What is the condition of the atmosphere when its dew point is equal to the temperature of the atmosphere? If the temperature of a room is raised, explain what the effect will be on (i) the dew point, (ii) the relative humidity of the atmosphere in the room.] [*H. S. Exam. 1960*]

4. হাইগ্রোমিটার কাহাকে বলে? ইহা দ্বারা কি নির্ণয় করা হয়? Regnault-এর হাইগ্রোমিটার বর্ণনা কর ও ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[What is a hygrometer? What does it determine? Describe and explain the action of a Regnault's hygrometer.]

[*cf. P. U. 1962* ; *H. S. (comp) 1962*]

5. বায়ুর আর্দ্রতা বলিতে কি বোঝায়? এমন একটি যন্ত্র বর্ণনা কর যাহার দ্বারা বায়ুর আর্দ্রতা মাপা যায়। তোমার বর্ণিত যন্ত্রের একটি সুন্দর নকশা আঁক।

[What is 'hygrometric state' of air? Describe any apparatus with the help of which the hygrometric state of air may be determined. Draw a neat sketch of the apparatus.] [*H. S. (comp.) 1961 '63*]

6. আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড হাইগ্রোমিটারে, আর্দ্রকুণ্ড থার্মোমিটারের পাঠ শুষ্ক কুণ্ড থার্মোমিটার হইতে ভিন্ন হয় কেন? কোন্ অবস্থায় দুই থার্মোমিটারের পাঠ সমান হইবে? ঐ হাইগ্রোমিটার দ্বারা আপেক্ষিক আর্দ্রতা কিরূপে নির্ণয় করা হয়?

[In a wet and dry bulb hygrometer, why does the wet-bulb thermometer give a reading different from that of the dry-bulb thermometer? In what circumstances would both readings be the same? How is such a hygrometer used for determining relative humidity?] [*H. S. Exam 1964*]

7. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির জবাব লেখ :—

(ক) বর্ষাকাল অপেক্ষা শীতকালে ভিজা কাপড় তাড়াতাড়ি শুকায় যদিও শীতকালে তাপমাত্রা কম। কেন? (খ) একটি কাচের পাত্রে বরফ-জল ঢালিলে কাচের বাহিরের গায়ে জলবিন্দু জমা হয় কেন? (গ) দুইটি ঘরের তাপমাত্রা 24°C. একটিতে আপেক্ষিক আর্দ্রতা

80 % ; এবং অন্যটিতে 60 % ; কোন্ ঘর বেশী আরামদায়ক হইবে ? (ঘ) পুরী ও দিল্লীতে কোন দিনে তাপমাত্রা সমান থাকিলেও পুরী অপেক্ষা দিল্লী বেশী আরামপ্রদ মনে হয় কেন ? (ঙ) শীতের সকালে কোন কাচের উপর মুখ দিয়া ফুঁ দিলে, কাচটি আবছা হইয়া যায় কেন ?

[Answer the following questions :—

(a) Wet clothes are usually seen to dry sooner in the cold weather than in the rainy season though the temperature in the latter case is higher Why ? [H S (comp) 1960]

(b) Why does a glass tumbler 'cloud over' on the outside when ice cold water is poured into it ? [H S (comp) 1961]

(c) The temperature of two rooms is 24°C The relative humidity of one is 80 % and that of the other 60 % In which room would you feel more comfortable ?

(d) A hot day at Puri causes greater discomfort than an equally hot day in Delhi Why ?]

(e) A piece of glass is dimmed when you blow on it with your mouth on a winter morning Why ?]

8 একটি থার্মোমিটারের কুণ্ড তুলা দ্বারা মুড়িয়া উহাকে পর্যায়ক্রমে (i) জল (ii) ইথার (iii) কোন তৈল দিয়া ভিজান হইল। থার্মোমিটারের পাঠের কিরূপ পরিবর্তন হইবে এবং কেন ?

[The bulb of a thermometer is wrapped round with cotton which is wetted in turn with (i) water (ii) ether (iii) an oil How will the readings differ and why ?]

9 কোন একদিনের তাপমাত্রা 80°C এবং শিশিরাঙ্ক 15°C উক্ত তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয়-বাষ্পের চাপ যথাক্রমে 81.5 mm এবং 12.7 mm হইলে ঐ দিনের আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত ?

[On a certain day when the temperature of the air was 80°C the dew-point was found to be 15°C The saturation vapour pressures at those temperatures were respectively 81.5 mm and 12.7 mm What was the relative humidity at that time ?] [Ans 40.8]

10 উপরোক্ত প্রশ্নে যদি শিশিরাঙ্ক 15°C-এর পরিবর্তে 20°C হয় তবে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বৃদ্ধি পাইবে না হ্রাস পাইবে ?

[If the dew-point in the above example were 20°C instead of 15°C, will the relative humidity increase or decrease ?]

11 কোনও নির্দিষ্ট দিনে শিশিরাঙ্ক 15°C এবং বায়ুর তাপমাত্রা 81°C 15°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 12.8 mm হইলে বায়ুতে উপস্থিত জলীয়-বাষ্পের চাপ কত ?

[The dew-point on a particular day was 15°C while the temperature of air was 81°C If the saturation vapour pressure at 15°C is 12.8 mm what is the pressure of the vapour present in the air ?] [Ans 12.8 mm]

12. কোন দিন বায়ুর তাপমাত্রা 18·5°C এবং শিশিরাঙ্ক 12°C ; 18°C, 19°C এবং 12°C তাপমাত্রায় জলীয় টান যথাক্রমে 15·46, 15·86 এবং 10·46 mm. হইলে ঐ দিনের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় কর।

[On a certain day, the temperature of the air is 18·5°C and the dew-point is 12°C. Find the relative humidity. The aqueous tensions at 18°C, 19°C and 12°C are 15·46, 15·86 and 10·46 mm. of mercury respectively.]

[*H. S. (comp) 1962*] [Ans. 66·7 %]

13. শিশিরাঙ্ক 20·4°C এবং ঘরের তাপমাত্রা 27·9°C হইলে নিম্নলিখিত সংপৃক্ত জলীয়-বাষ্পের চাপ হইতে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় কর :

তাপমাত্রা		জলীয় বাষ্পের চাপ
20°C	...	17·54 mm
21°C	...	18·65 ,,
27°C	...	26·75 ,,
28°C	...	28·36 ,,

[The dew-point is 20·4°C and the room temperature is 27·9°C. From the following table of saturation vapour pressure calculate the relative humidity :—

Temp.		Sat. vapour pressure
20°C	...	17·54 mm.
21°C	...	18·65 ,,
27°C	...	26·75 ,,
28°C	...	28·36 ,,]

[Ans. 68·7 % প্রায়

14. শিশির কাহাকে বলে? উহার উৎপত্তি কিরূপে হয়? কোন কোন বস্তুর উপর শিশির বেশী জমে কেন? কি কি কারণে বেশী শিশির জমিবার সুবিধা হয়?

[What is dew? How is it caused? Why is dew deposited more on some substances than others? What factors lead to copious deposition of dews?]

15. কোন্ তরল হইতে উদ্ভূত বাষ্প চাপ প্রদান করিতে সক্ষম তাহা প্রদর্শন করাইবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। কোন তরলের বাষ্প-চাপ 25°C তাপমাত্রায় 80 mm.—এই বাক্যের ব্যাখ্যা কর।

[Describe an experiment to show that vapour coming out of a liquid is capable of exerting pressure. Vapour pressure of a liquid at 25°C is 80 mm.—explain the statement.]

———

সপ্তম পরিচ্ছেদ

তাপ সঞ্চালন [Transmission of heat]

7-1. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি (Different ways of transmission of heat) :

একস্থান হইতে অন্যস্থানে তাপ সঞ্চালনের তিনটি পদ্ধতি আছে। যথা :

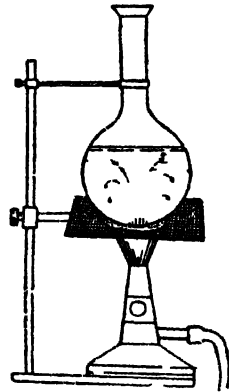
(1) **পরিবহণ** (Conduction), (2) **পরিচলন** (Convection) ও (3) **বিকিরণ** (Radiation)।

পরিবহণ : একটি লোহার দণ্ডের একপ্রান্ত আগুনে ধরিলে কিছু সময় পরে অন্য প্রান্ত গরম হইয়া পড়ে। এস্থলে দণ্ডের ভিতর দিয়া একপ্রান্ত হইতে অন্যপ্রান্তে তাপ সঞ্চালিত হইল কিন্তু দণ্ডের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাগুলি তাপ বহন করিয়া একপ্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে গেল না। তাহা যদি হইত তবে যে-প্রান্ত আগুনে ধরা আছে উহা সরু হইয়া যাইত এবং অপর প্রান্ত মোটা হইত। কিন্তু তাহা হয় না। তবে তাপ সঞ্চালন কিরূপে হইল? পদ্ধতিটি বর্ণনা করিবার পূর্বে আর একটি ঘটনা বলি।

কোন বাড়ী তৈয়ারী করিবার সময় মজুরেরা ইটের গাদা হইতে ইট জমিতে কিরূপে লইয়া আসে লক্ষ্য করিয়াছ কি? মজুরেরা লাইন দিয়া দাঁড়াইয়া যায় এবং প্রথম মজুর গাদা হইতে একখানা ইট লইয়া পরের জনকে দেয়। সে আবার ইটখানি পরের মজুরকে হস্তান্তরিত করে। এইভাবে একজন হইতে অপরজনে চালিত হইয়া ইট জমিতে পৌছাইয়া যায়। কিন্তু কোন মজুরই নিজের স্থান ত্যাগ করে না। পরিবহণ প্রণালীও এইরকম।

দণ্ডের যে-প্রান্ত আগুনে ধরা হইল প্রথমে সেই প্রান্তের কণাগুলি তাপ গ্রহণ করিয়া উত্তপ্ত হইল। পরে উহা পার্শ্ববর্তী ঠাণ্ডা কণাকে সেই তাপ হস্তান্তর করিল। এই কণা আবার উত্তপ্ত হইয়া উহার পার্শ্ববর্তী ঠাণ্ডা কণাকে তাপ হস্তান্তর করিল। এইরূপে কণা হইতে কণাতে হস্তান্তরিত হইয়া অবশেষে তাপ অন্য প্রান্তে পৌছিল। এই ধরনের তাপ সঞ্চালনের পদ্ধতিকে পরিবহণ বলা হয়।

অতএব, যে-প্রণালীতে কোন দ্রব্যের উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে তাপ গমন করে অথচ ইহার জন্য দ্রব্যের কণাগুলির কোন স্থান পরিবর্তন হয় না, তাহাকে পরিবহণ বলা হয়। সাধারণত কঠিন পদার্থে তাপ সঞ্চালন পরিবহণ প্রণালীতে হইয়া থাকে।

পরিচলন: এই প্রণালীতে পদার্থের উত্তপ্ত কণাগুলি নিজেরাই উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে গমন করিয়া তাপ লইয়া যায়। পূর্বে মজুরদের ইট লইবার যে উপমা দেওয়া হইয়াছে তাহার সাহায্যে বলা যায় যে যদি মজুরেরা নিজেরাই প্রত্যেকে গাদা হইতে ইট লইয়া জমিতে উপস্থিত হয় তবে যে পদ্ধতির সৃষ্টি হইবে পরিচলনও সেই রকম পদ্ধতি। সাধারণত তরল ও বায়বীয় পদার্থে তাপ সঞ্চালন পরিচলন প্রণালীতে হইয়া থাকে।

তাপ পরিচলন পদ্ধতি

চিত্র 7ক

পরীক্ষা: একটি কাচের ফ্লাস্কে খানিকটা জল লইয়া উহার ভিতর একটু নীল ফেলিয়া দাও। এখন ফ্লাস্কটি গরম কর। দেখিবে যে একটি নীল জলের ধারা নীচ হইতে উপরে উঠিতেছে এবং ফ্লাস্কের গা বাহিয়া একটি নীল জলের ধারা উপর হইতে নীচে নামিতেছে। ইহার কারণ এই যে তলার নীল জল উত্তপ্ত হইয়া হাল্কা হয় এবং উপরের দিকে উঠে এবং উপরের ঠাণ্ডা ও ভারী জল নীচে চলিয়া আসে (7ক নং চিত্র)। এইভাবে দুইটি জলস্রোতের সৃষ্টি হইবে। কিছুক্ষণ পরে অবশ্য সমস্ত জল সমভাবে উত্তপ্ত হইয়া পড়িবে। এস্থলে উত্তপ্ত জলের কণাগুলি নীচ হইতে উপরে উঠিয়া তাপ সঞ্চালন করিল। এই পদ্ধতিকে তাপের পরিচলন বলে।

বিকিরণ: এই প্রণালীতে কোন জড় মাধ্যমের (material medium) **সাহায্য না লইয়া অথবা জড় মাধ্যম থাকিলে তাহাকে উত্তপ্ত না করিয়া তাপ একস্থান হইতে অন্যস্থানে সঞ্চালিত হয়।**

আমরা সূর্য হইতে তাপ পাই। কিন্তু সূর্য ও পৃথিবীর ভিতর বেশীর ভাগ স্থান শূন্য। কাজেই সূর্য-তাপ পৃথিবীতে পরিবহণ বা পরিচলন পদ্ধতিতে আসিতে পারে না কারণ উভয়ক্ষেত্রেই জড় মাধ্যমের প্রয়োজন। উপরন্তু

সূর্যতাপ পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া আসিলেও বায়ুমণ্ডল ঠাণ্ডাই থাকে। (কারণ যত ঊর্ধ্বে আরোহণ করা যায় বায়ুমণ্ডল তত শীতল, ইহা আমাদের সকলের জানা আছে।) সুতরাং পৃথিবীতে সূর্য-তাপ পৌছিবার পদ্ধতি পরিবহণ ও পরিচলন হইতে ভিন্ন। ইহা একটি সম্পূর্ণ আলাদা পদ্ধতি। এই পদ্ধতিকে বিকিরণ বলা হয়।

একটি জলন্ত উনুনের পাশে দাঁড়াইলে আমরা গরম অনুভব করি। ইহা পরিচলন দ্বারা হইতে পারে না, কারণ পরিচলনের ফলে উত্তপ্ত হাওয়া উপরে উঠিবে এবং পার্শ্ববর্তী ঠাণ্ডা হাওয়া উনুনের দিকে যাইবে। সুতরাং আমাদের ঠাণ্ডা লাগাই উচিত। আবার, পরিবহণ দ্বারাও হইতে পারে না। কারণ বায়ুর পরিবহণ ক্ষমতা খুব কম। অথচ আমরা গরম অনুভব করি। যেহেতু এই তাপ সঞ্চালন পরিবহণ বা পরিচলন দ্বারা হইতেছে না, সুতরাং বিকিরণ দ্বারাই হইতেছে।

তিন পদ্ধতির প্রভেদ ঃ

(1) পরিবহণ ও পরিচলনের জন্য কোন জড় মাধ্যমের (কঠিন, তরল বা বায়বীয়) প্রয়োজন কিন্তু বিকিরণ ঐরূপ কোন মাধ্যমের সাহায্য না লইয়াও হইতে পারে।

(2) পরিবহণ বা পরিচলন খুব মন্থর পদ্ধতি কিন্তু বিকিরণ অতিশয় দ্রুত পদ্ধতি। বিকিরণের দরুন যে-বেগে তাপ সঞ্চালিত হয় তাহা আলোর বেগের সমান।

(3) বিকিরণ প্রণালীতে তাপ সরল রেখায় সর্বদিকে চলাচল করে কিন্তু পরিবহণ বা পরিচলন প্রণালীতে তাপ বক্রপথে চলাচল করিতে পারে। সূর্যের তাপ নিবারণ করিতে আমরা ছাতা খুলি। ইহা প্রমাণ করে যে সূর্য হইতে বিকীর্ণ তাপ সরলরেখায় চলে।

(4) বিকিরণ প্রণালীতে তাপ মাধ্যমকে উত্তপ্ত করে না কিন্তু পরিবহণ বা পরিচলন প্রণালীতে তাপ যে-মাধ্যম অবলম্বন করিয়া চলাচল করে তাহাকে উত্তপ্ত করে।

7-2. তাপ পরিবাহিতা (Thermal conductivity) ও পরিবাহিতাঙ্ক (Co-efficient of thermal conductivity) ঃ

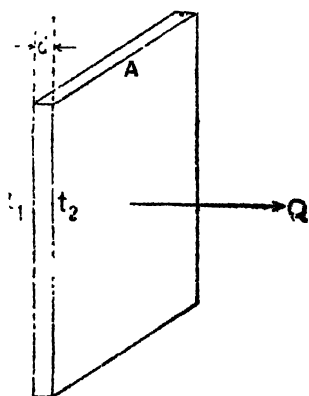
তাপ পরিবহণের গুণকে পদার্থের পরিবাহিতা বলে। সব পদার্থের পরিবাহিতা এক নয়। একটি কাঠের দণ্ডের একপ্রান্ত আগুনে রাখিয়া অন্য প্রান্ত অনেকক্ষণ পর্যন্ত হাতে ধরিয়া রাখা যায়, কিন্তু লোহার দণ্ডের বেলাতে

অল্পক্ষণ পরেই প্রান্ত প্রায় এত উত্তপ্ত হইয়া উঠিবে যে ধরিয়া রাখা সম্ভব হইবে না। সুতরাং লোহা যত সহজে তাপ পরিবহণ করিতে পারে কাঠ তাহা পারে না। এইজন্য বলা হয় লোহার পরিবাহিতা কাঠ অপেক্ষা বেশী।

যে-সমস্ত পদার্থ খুব সহজে তাপ পরিবহণ করিতে পারে তাহাদের **সুপরিবাহী** (good conductor) বলে এবং যে-সমস্ত পদার্থ পারে না তাহাদের **কুপরিবাহী** (bad conductor) বলে। প্রায় সব ধাতুই সুপরিবাহী এবং কাঠ, কাচ, কাপড়, রবার প্রভৃতি কুপরিবাহী।

পরিবাহিতাঙ্ক :

কোন্ পদার্থ কতটা তাপের পরিবাহী তাহা পরিমাণমূলক (quantitatively) ভাবে বুঝাইবার জন্য 'পরিবাহিতাঙ্ক' কথা ব্যবহৃত হয়। নিম্নলিখিত ব্যাখ্যা হইতে পদার্থের 'পরিবাহিতাঙ্ক' কথাটির অর্থ সুস্পষ্ট হইবে।

ধর, আমরা কোন পদার্থের একটি আয়তাকার প্লেট লইলাম। প্লেটটির ক্ষেত্রফল A, বেধ (thickness) d এবং দুই সমান্তরাল পৃষ্ঠের তাপমাত্রা t_1 এবং t_2 ($t_1 > t_2$)। এই অবস্থায় প্লেটটির উষ্ণ পৃষ্ঠ হইতে ঠাণ্ডা পৃষ্ঠের দিকে লম্বভাবে তাপ পরিবাহিত হইবে [চিত্র নং 7খ]। যদি ধরা যায় Q পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হইল তাহা হইলে, এই তাপ

চিত্র 7খ

(i) ক্ষেত্রফলের (A) সমানুপাতিক, অর্থাৎ $Q \propto A$ (ii) বেধের (d) ব্যস্ত অনুপাতিক অর্থাৎ $Q \propto \frac{1}{d}$, (iii) তাপমাত্রা প্রভেদের $(t_1 - t_2)$ সমানুপাতিক অর্থাৎ $Q \propto (t_1 - t_2)$ এবং (iv) যে-সময় (T) ধরিয়া তাপ পরিবাহিত হইতে দেওয়া হয় তাহার সমানুপাতিক অর্থাৎ $Q \propto T$.

সুতরাং,

$$Q \propto \frac{A(t_1 - t_2)T}{d}$$

অথবা $$Q = \frac{K.A(t_1 - t_2)T}{d} \quad [\, K = \text{ধ্রুবক} \,]$$

ধ্রুবক 'K'-কে উক্ত পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক (co-efficient of thermal conductivity বা সংক্ষেপে, thermal conductivity) বলা হয়।

যদি $A=1$, $(t_1-t_2)=1$, $T=1$, $d=1$ হয়, তবে $Q=K$ অর্থাৎ একক বেধ ও একক ক্ষেত্রফলযুক্ত পদার্থখণ্ডের বিপরীত পৃষ্ঠের তাপমাত্রাভেদ একক হইলে উহার মধ্য দিয়া এক পৃষ্ঠ হইতে অপর পৃষ্ঠে লম্বভাবে এক সেকেণ্ডে যে-তাপ প্রবাহিত হয় তাহা ঐ পদার্থের পরিবাহিতাঙ্কের সমান। যেমন 'তামার পরিবাহিতাঙ্ক 0.92 বলিতে ইহাই বুঝাইবে যে এক সেন্টিমিটার পুরু, এক বর্গ সেন্টিমিটার ক্ষেত্রফলযুক্ত তামার খণ্ড লইয়া উহার বিপরীত পৃষ্ঠদ্বয়ের তাপমাত্রা প্রভেদ 1°C করিলে, এক সেকেণ্ডে 0.92 ক্যালরি তাপ উহার মধ্য দিয়া এক পৃষ্ঠ হইতে অপর পৃষ্ঠে লম্বভাবে প্রবাহিত হইবে।

এই প্রসঙ্গে মনে রাখিতে হইবে যে, সি জি এস্ পদ্ধতি অনুযায়ী,

Q-এর একক হইবে		Calorie.
A	,, ,,	Sq cm
d	,, ,,	Cm
T-	,, ,,	Second
t_1, t_2-	,, ,,	Centigrade

এফ্ পি এস্ পদ্ধতি অনুযায়ী,

Q এর একক হইবে		B Th U
A	,, ,,	Sq ft
d-	,, ,,	ft
T	,, ,,	Second
t_1, t_2-	,, ,,	Fahrenheit

উদাহরণ :

(1) একটি লোহার প্লেটের বেধ 4 mm এবং ক্ষেত্রফল 150 sq cm উহার বিপরীত পৃষ্ঠদ্বয়ের তাপমাত্রা 100°C ও 30°C এবং এক সেকেণ্ডে এক পৃষ্ঠ হইতে অপর পৃষ্ঠে 3940 cal তাপ প্রবাহিত হয়। লোহার পরিবাহিতাঙ্ক কত ?

[An iron plate is 4 mm broad and its area is 150 sq cm The two opposite surfaces of the plate are at temperatures 100°C and 30°C and in 1 sec 3940 cal of heat flow from one surface to the other What is the thermal conductivity of iron ?]

উ। এস্থলে $d = 4$ mm. $= \cdot 4$ cm. ; $A = 150$ sq. cm. ;
$(t_1 - t_2) = 100° - 30° = 70°C$; $Q = 3940$ cal. ; $T = 1$ sec. ; $K = ?$

আমরা জানি, $Q = \dfrac{K.\ A(t_1 - t_2)T}{d}$

অথবা, $3940 = \dfrac{K.\ 150 \times 70 \times 1}{\cdot 4}$

$\therefore\ K = \dfrac{3940 \times \cdot 4}{150 \times 70} = \cdot 15$ C. G. S. (প্রায়)

(2) একটি ঘরের দেওয়ালের ক্ষেত্রফল 100 sq. metres এবং বেধ 50 cm. ; ঘরের বাহিরের এবং ভিতরের তাপমাত্রা যথাক্রমে 35°C ও 25°C হইলে প্রতি সেকেণ্ডে দেওয়াল ভেদ করিয়া কত তাপ ঘরে প্রবেশ করিবে ? [দেওয়ালের সিমেণ্ট প্রভৃতির পরিবাহিতাঙ্ক = ·002]

[The wall of a room is 100 sq. metres in area and 50 cm. thick. The temperatures outside and inside the room are 35°C and 25°C respectively. How much heat will flow per sec. through the wall from outside to inside ? The thermal conductivity of cement etc. = ·002]

উ। আমরা জানি, $Q = \dfrac{K.A(t_1 - t_2)T}{d}$

এস্থলে $K = \cdot 002$; $A = 100$ sq. metres $= 10^6$ sq. cm. ,
$d = 50$ cm., $(t_1 - t_2) = 10°C$, $T = 1$ sec.

সুতরাং $Q = \dfrac{\cdot 002 \times 10^6 \times 10 \times 1}{50}$ cal.

$= 400$ cal.

(3) একটি লৌহ ঘনকের (cube) ক্ষেত্রফল 4 sq. cm. এবং ইহার এক পার্শ্ব স্টীম ও অপর পার্শ্ব বরফের সহিত সংস্পর্শযুক্ত। 10 মিনিট সময়ে কতখানি বরফ গলিয়া যাইবে নির্ণয় কর। (লৌহের পরিবাহিতাঙ্ক = 0·2)।

[An iron cube having an area of 4 sq. cm. has one side in contact with steam and the opposite side with ice. Calculate the amount of ice that would melt in 10 minutes. Thermal conductivity of iron = 0·2.]

উ। ঘনকের ক্ষেত্রফল = 4 sq. cm. , সুতরাং উহার বেধ = 2 cm ; উহার দুই পার্শ্বের তাপমাত্রা যথাক্রমে 100°C (স্টীম) ও 0°C (বরফ)। সুতরাং উষ্ণ

প্রান্ত হইতে শীতল প্রান্তে যদি Q তাপ 10 মিনিট সময়ে প্রবাহিত হয় তবে

$$Q = \frac{K.A\,(t_1 - t_2)\,T}{d}$$

$$= \frac{0.2 \times 4 \times 100 \times 10 \times 60}{2}$$

$$= 24000 \text{ cal}$$

আমরা জানি প্রতি গ্র্যাম বরফ গলিবার জন্য 80 cal তাপ প্রয়োজন। সুতরাং উপরোক্ত তাপে যে-বরফ গলিবে তাহার পরিমাণ $= \frac{24000}{80}$
$= 300$ gms

(4) একটি ঘনকের প্রত্যেক পার্শ্বের দৈর্ঘ্য 10 cm এবং উহাকে 0°C তাপমাত্রার বরফ দিয়া ভর্তি করিয়া 100 C তাপমাত্রার জলের ভিতর সম্পূর্ণ নিমজ্জিত করা হইল। সব বরফ গলিতে কত সময় লাগিবে নির্ণয় কর। ঘনকের প্রত্যেক পার্শ্ব 0 2 cm পুরু এবং উহার উপাদানের পরিবাহিতাঙ্ক = 0·2 C G S unit বরফের ঘনত্ব = 0 92 gm/c c

[A cubical vessel of 10 cms side is filled with ice at 0 C and is immersed in a water bath at 100°C Find the time in which all ice will melt Thickness of the vessel 0 2 cm, thermal conductivity of its material = 0 2 C G S unit and density of ice – 0 92 gm/c c]

উ। বরফের আয়তন = 10 × 10 × 10 = 1000 c c.

ঐ বরফের ভর 1000 × 0 92 = 920 gms

আমরা জানি প্রতি গ্রাম বরফ গলিতে 80 cal. তাপ প্রয়োজন। কাজেই

920 gms. বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= \frac{920}{80} = \frac{23}{2}$ cal

ধর, এ তাপ 'T' sec সময়ে জল হইতে বরফে পরিবাহিত হইল। এখন, আমরা জানি, $Q = \frac{K\,A\,(t_1 - t_2)\,T}{d}$

এখন, K = 0 2, A = 10 × 10 sq. cm., $(t_1 - t_2) = 100°C$ $d = 0·2$ cm.,
কাজেই ঘনকের প্রত্যেক পার্শ্ব হইতে যে তাপ পরিবাহিত হইবে তাহা Q cal. ধরিলে,

$$Q = \frac{0·2 \times 10 \times 10 \times 100 \times T}{0·2}$$

অতএব, ঘনকের সব পার্শ্ব হইতে মোট তাপ যাহা পরিবাহিত হইবে তাহা

$$6\times Q=\frac{6\times 0{\cdot}2\times 10\times 10\times 100\times T}{0{\cdot}2}$$

$$\therefore\quad \frac{23}{2}=\frac{6\times 0{\cdot}2\times 10\times 10\times 100\times T}{0{\cdot}2}$$

$$\text{or,}\quad T=\frac{23}{12}\times 10^{-4}=1{\cdot}9\times 10^{-4}\ \text{sec.}$$

কয়েকটি পদার্থের পরিবাহিতাঙ্কের তালিকা

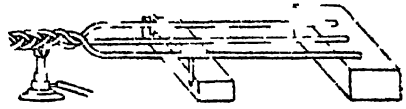
(সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে)

পদার্থ	পরিবাহিতাঙ্ক	পদার্থ	পরিবাহিতাঙ্ক
রূপা	·97	দস্তা	·26
সোনা	·70	সীসা	·08
তামা	·92	লোহা	·16
অ্যালুমিনিয়াম	·50	কাচ	·002

7-3 বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতার তুলনা (Comparison of conductivities of different substances):

নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষাদ্বারা বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতার তুলনা করা যাইতে পারে।

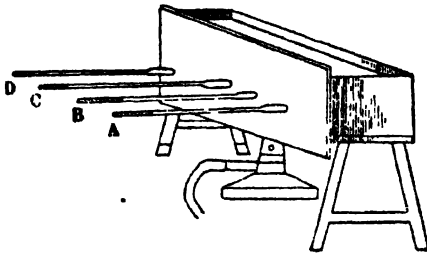
পরীক্ষা:

(1) 50 সেন্টিমিটার লম্বা ও প্রায় তিন মিলিমিটার ব্যাসযুক্ত তামা, লোহা ও সীসার তিনটি তার লও। তার তিনটির একপ্রান্ত একসঙ্গে মোচড়াইয়া জুড়িয়া দাও এবং সেই প্রান্ত বার্নার দ্বারা উত্তপ্ত কর (7গ নং চিত্র)। তিন চার মিনিট পরে একটি দেশলাইয়ের কাঠি প্রত্যেক তারের গা বাহিয়া শীতল প্রান্ত হইতে উষ্ণপ্রান্তের দিকে লইয়া যাও। দেখিবে যে বিভিন্ন তারে বিভিন্ন জায়গাতে গিয়া দেশলাইয়ের কাঠি জ্বলিয়া উঠিবে। তামার তারে

বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতা বিভিন্ন

চিত্র 7গ

সর্বাপেক্ষা কম দূর যাইতে হইবে, তারপর লোহার তার এবং সীসার তারে সর্বাপেক্ষা বেশী দূর যাইতে হইবে। ইহা প্রমাণ করে যে তামা সবচাইতে সহজে তাপ পরিবহণ করে—তারপর লোহা এবং সবশেষে সীসা।

(2) Ingenhausz-এর পরীক্ষা :

7ঘ নং চিত্রে এই পরীক্ষার ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। A, B, C এবং D কতগুলি বিভিন্ন ধাতুর দণ্ড। ইহাদের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ সমান এবং ইহাদের উপর সমানভাবে মোমের প্রলেপ লাগানো আছে। দণ্ডগুলি একটি ধাতব-পাত্রের ভিতর এমন ভাবে ঢুকানো যে পাত্রের ভিতরে প্রত্যেক দণ্ডের দৈর্ঘ্য সমান। ধাতবপাত্রে জল রাখিয়া ফুটাইলে প্রত্যেক দণ্ডের এক প্রান্ত ফুটন্ত জলের তাপমাত্রা পাইবে। অন্যপ্রান্ত শীতল থাকিয়া দণ্ড বাহিয়া তাপ প্রবাহিত হইবে এবং তাহার ফলে দণ্ডের গায়ে যে-মোমের প্রলেপ লাগানো আছে তাহা গলিতে শুরু করিবে। যখন প্রত্যেক দণ্ডের উষ্ণতা স্থির অবস্থায় আসিবে তখন মোম গলা বন্ধ হইবে। দেখা যাইবে যে বিভিন্ন দণ্ডের মোম গলার দৈর্ঘ্য বিভিন্ন। যে-দণ্ডে মোম বেশী দূর গলিবে সেই দণ্ডের পরিবাহিতা বেশী।

Ingenhausz-এর পরীক্ষা ব্যবস্থা

চিত্র 7ঘ

দণ্ডগুলির পরিবাহিতাঙ্ক k_1, k_2, k_3 ইত্যাদি হইলে এবং মোমগলনের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1, l_2, l_3 ইত্যাদি হইলে, ইহা প্রমাণ করা যায় যে

$$\frac{k_1}{l_1^2}=\frac{k_2}{l_2^2}=\frac{k_3}{l_3^2}= \quad \cdots \text{ইত্যাদি}$$

যে-কোন একটি দণ্ডের পরিবাহিতাঙ্ক জানা থাকিলে উপরোক্ত সমীকরণের সাহায্যে অন্য দণ্ডের পরিবাহিতাঙ্ক নির্ণয় করা যাইবে। তবে, উপরোক্ত সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করিবার সময় দুইটি শর্ত আরোপ করা হয়। প্রথমত দণ্ডগুলির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল সমান হওয়া প্রয়োজন এবং দ্বিতীয়ত দণ্ডগুলির তাপ বিকিরণ ক্ষমতা (emissivity) সমান করিতে হইবে। তাপ বিকিরণ-ক্ষমতা বস্তুর পৃষ্ঠের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল বলিয়া প্রত্যেক দণ্ডের গায়ে সমান

ভাবে মোমের প্রলেপ লাগাইয়া উহাদের তাপ বিকিরণ ক্ষমতা সমান করিয়া লওয়া হয়। তাছাড়া দণ্ডগুলি এমনভাবে বাছাই করা হয় যে উহাদের প্রত্যেকের প্রস্থচ্ছেদ সমান।

7-4. স্থিরপূর্ব অবস্থা (Variable state), স্থির অবস্থা (Steady state) এবং তাপ ব্যপনতা (Diffusivity) :

কোন দণ্ডের একপ্রান্ত উত্তপ্ত করিলে, যতই দণ্ড বাহিয়া তাপ চলাচল করিতে থাকে তত দণ্ডের দূরবর্তী বিন্দুগুলির তাপমাত্রা বাড়িতে থাকে এবং দণ্ডের দৈর্ঘ্যের লম্ব বরাবর তির্যক স্তরগুলির (transverse layers) তাপমাত্রাও বাড়িতে থাকে। এই অবস্থাকে **স্থিরপূর্ব অবস্থা** বলে। কিছুক্ষণ পরে, প্রত্যেক তির্যকস্তরগুলি একটি সর্বোচ্চ তাপমাত্রায় উপস্থিত হয়—যদিও এই সর্বোচ্চ তাপমাত্রার মান ঐ দণ্ডের উত্তপ্ত প্রান্ত হইতে যত দূরে যাওয়া যাইবে তত একটু একটু করিয়া হ্রাস পাইবে। যতক্ষণ পর্যন্ত দণ্ডের উত্তপ্ত প্রান্তের তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিবে ততক্ষণ প্রত্যেক স্তর নিজস্ব সর্বোচ্চ তাপমাত্রা অক্ষুণ্ণ রাখিবে। এই অবস্থাকে বলা হয় **স্থির অবস্থা**।

স্থিরপূর্ব অবস্থায়, যে-কোন স্তর উহার পূর্ববর্তী স্তর হইতে পরিবহণ প্রণালীতে তাপ পায় এবং ঐ তাপের কিয়দংশ ঐ স্তর শোষণ করিয়া নিজস্ব তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে, কিয়দংশ বিকিরণ পদ্ধতিতে চতুর্দিকে ছড়াইয়া দেয় এবং বাকীটা পরবর্তী স্তরে হস্তান্তরিত করে। সুতরাং এই অবস্থায় পরিবহণ ও শোষণ উভয় কার্যই একসঙ্গে চলে এবং ইহাদের মিলিত অবস্থাকে বলা হয় **তাপ ব্যপনতা**।

ধাতবদণ্ড প্রভৃতির মত যে-কোন বস্তুর ভিতর দিয়া তাপ ব্যপনতার হার শুধু বস্তুর উপাদানের পরিবাহিতাঙ্কের উপর নির্ভর করে তাহা নয়, উহার আপেক্ষিক তাপের উপরও নির্ভর করে, কারণ ঐ অবস্থায় যে তাপ শোষিত হয় তাহা ঐ বস্তুর তাপগ্রাহিতার উপর নির্ভর করে। প্রমাণ করা যায় যে,

$$\text{তাপ ব্যপনতা} = \frac{\text{পরিবাহিতাঙ্ক}}{\text{আপেক্ষিক তাপ} \times \text{ঘনত্ব}} = \frac{K}{S\rho}$$

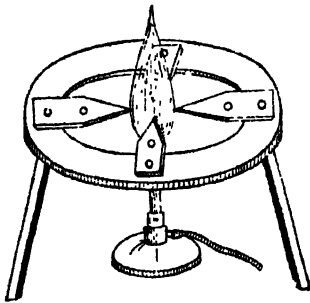
[K = পরিবাহিতাঙ্ক ; S = আপেক্ষিক তাপ ; ρ = ঘনত্ব]

তাপ ব্যপনতার সংজ্ঞা হিসাবে আমরা বলিতে পারি যে, কোন পদার্থের ভিতর দিয়া যে-হারে তাপমাত্রা পরিবর্তন করে তাহাই ঐ পদার্থের তাপ ব্যপনতার সমান।

স্থিরপূর্ব অবস্থায়, পরিবাহিতাঙ্ক এবং আপেক্ষিক তাপ উভয়েরই গুরুত্ব আছে; কিন্তু স্থির অবস্থায় তাপের কোন শোষণ হয় না বলিয়া তাপ চলাচল ব্যাপারে শুধু পরিবাহিতাঙ্কের গুরুত্ব থাকে। স্থির অবস্থায় কোন স্তর যে-তাপ পায় তাহার কিয়দংশ বিকিরণের দরুন নষ্ট হয় এবং বাকীটা পরিবহণ প্রণালীতে পরবর্তী স্তরে স্থানান্তরিত হয়—তাপের কোনরূপ শোষণ হয় না।

কোন বস্তুর তাপ ব্যপনতা খুব বেশী এবং পরিবাহিতা খুব কম হইতে পারে; আবার কোন বস্তুর ক্ষেত্রে উল্টা ব্যাপারও হইতে পারে। যেমন, লোহা অপেক্ষা বিসমাথের তাপ ব্যপনতা বেশী এবং বিসমাথ অপেক্ষা লোহার তাপ পরিবাহিতা বেশী। ইহার কারণ বিসমাথের তাপগ্রাহিতা খুব কম।

7-5. বিভিন্ন পদার্থের তাপ ব্যপনতা বিভিন্ন তাহা দেখাইবার পরীক্ষা:

বিভিন্ন পদার্থ—যেমন, তামা, লোহা, দস্তা এবং শ্লেটের তৈয়ারী চারটি চাপ্টা দণ্ড একটি কাঠের গোলাকার ফ্রেমে এমনভাবে আবদ্ধ করা আছে যে উহাদের এক প্রান্ত প্রায় সকলের সঙ্গে ফ্রেমের কেন্দ্রের কাছাকাছি আসিয়া ঠেকিয়াছে (চিত্র নং 7ঙ)। যখন ফ্রেমের কেন্দ্রে একটি বার্নার রাখিয়া দণ্ডগুলির একপ্রান্ত উত্তপ্ত করা হইবে, তখন ঐ প্রান্তগুলি সমতাপমাত্রা লাভ করিবে এবং প্রত্যেক দণ্ড বাহিয়া তাপ চলাচল করিবে। কেন্দ্র হইতে সমদূরে প্রত্যেক দণ্ডের অপর প্রান্তে একটি গর্তে কিছু

চিত্র 7ঙ

ফসফরাস রাখা আছে। দেখা যাইবে যে তামার দণ্ডের ফসফরাস সর্বাগ্রে জ্বলিয়া উঠিল; তারপর জ্বলিবে দস্তার দণ্ডের এবং দস্তার দণ্ডের পর জ্বলিতে দেখা যাইবে লোহার দণ্ডের ফসফরাস। কিন্তু শ্লেটের ফসফরাস কখনই জ্বলিবে না। ইহা প্রমাণ করে যে তামার দণ্ডের তাপমাত্রার পরিবর্তন সর্বাধিক এবং শ্লেটের সর্বাপেক্ষা কম। অর্থাৎ, বিভিন্ন পদার্থের তাপ ব্যপনতা বিভিন্ন।

7-6. সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী এবং উহাদের ব্যবহার (Good conductors and bad conductors and their uses) :

পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে সকল ধাতুই তাপের ভাল পরিবাহী। ইহার মধ্যে রূপা সর্বাধিক এবং তাহার পরেই তামা। সাধারণত **তরল পদার্থ** অপেক্ষা কঠিন পদার্থ তাপের সুপরিবাহী, আবার গ্যাস অপেক্ষা তরল বেশী সুপরিবাহী। যেমন, তামার পরিবাহিতা জলের পরিবাহিতার প্রায় 700 গুণ, আবার জলের পরিবাহিতা বায়ুর পরিবাহিতার প্রায় 25 গুণ। বায়ু যে তাপের কুপরিবাহী তাহা নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হইবে।

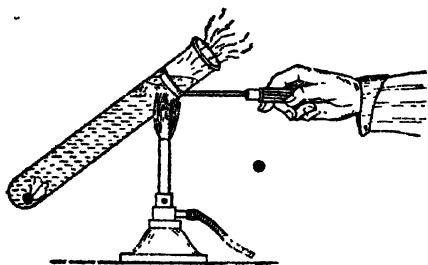
এক হাতে কিছু চকের গুঁড়া লও— যে গুঁড়াগুলি খুব সূক্ষ্ম নয়, একটু স্থূল যাহাতে গুঁড়াগুলির মধ্যে কিছু বায়ু আবদ্ধ থাকে। অন্য হাতে খুব সূক্ষ্ম গুঁড়া লও যাহাতে বিশেষ কোন বায়ু আবদ্ধ থাকিবে না। এখন, একটি উত্তপ্ত ধাতব বল এক হাত হইতে অপর হাতে লইলে যে-হাতে সূক্ষ্ম গুঁড়া আছে সেই হাতে বলটি বেশী উত্তপ্ত মনে হইবে। ইহার কারণ বায়ুর ভিতর দিয়া তাপ চলাচল করিতে পারে না।

উল, তুলা, অ্যাসবেসটস্ প্রভৃতি তাপের কুপরিবাহী। তাই তাপ-নিবারক (heat insulators) হিসাবে ইহাদের ব্যবহার আছে। রেফ্রিজারেটার এবং কুকারের দেওয়ালে লাইনিং হিসাবে অ্যাসবেসটস্ ব্যবহৃত হয়। অ্যাসবেসটস্ তন্তু এবং প্লাষ্টিকের সহযোগে তৈয়ারী অ্যাসবেসটস সিমেন্ট বয়লার এবং ষ্টীম পাইপের আবরণ হিসাবে ব্যবহৃত হয়। উল, তুলা প্রভৃতি দ্বারা গরম পোশাক, লেপ প্রভৃতি তৈয়ারী হয় যাহা আমরা শীতকালে ব্যবহার করি।

তামার সুপরিবাহীতার জন্য রাঁধিবার বাসনপত্র বা ছোটখাটো বয়লার তামার তৈরী হয়। ইঞ্জিনের সিলিণ্ডার এবং পিস্টনমুখ (piston head) নির্মাণে অ্যালুমিনিয়াম ব্যবহার করা হয়। ডেভীর নিরাপত্তা বাতি তামার জালি দিয়া তৈরী করা হয়।

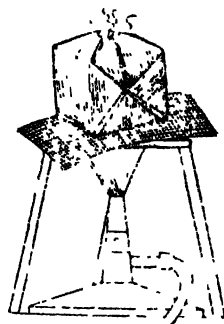
7-7. জলের নিম্নপরিবাহিতা প্রদর্শনের পরীক্ষা (Experiment to show low conductivity of water) :

একটি লম্বা টেস্ট টিউব জলপূর্ণ কর। একখণ্ড বরফকে এক টুকরা লোহার সহিত আটকাইয়া জলের ভিতর ছাড়িয়া দাও। লোহার টুকরা ভারী বলিয়া উহার সহিত আটকানো বরফ জলের উপর ভাসিয়া উঠিবে না।

এইবার টেস্ট টিউবটিকে কাত করিয়া ধরিয়া (7চ নং চিত্র) টিউবের উপরের অংশ বুনসেন বার্নার দ্বারা গরম কর। সাবধানে পরীক্ষা চালাইলে দেখা যাইবে যে টিউবের উপরের অংশের জল ফুটিতেছে কিন্তু নীচের অংশের বরফ গলে নাই। অর্থাৎ জল তাপের কুপরিবাহী বলিয়া উপর হইতে নীচে তাপ পরিবহণ করিল না এবং তাহার জন্য বরফ টুক্‌রাটিও গলিতে পারিল না।

জল তাপের কুপরিবাহী
চিত্র 7চ

7-8. সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী সংক্রান্ত কয়েকটি পরীক্ষা :

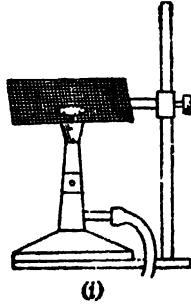
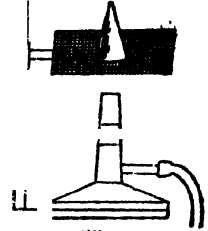
(1) কাগজের পাত্র পরীক্ষা :

একটি পাতলা কাগজের পাত্র তৈরী করিয়া তাহাকে আংশিক জলপূর্ণ কর। ঐ জলকে তাপ প্রদান করিয়া কেট্‌লির জলের মত ফুটানো যাইবে কিন্তু কাগজ পুড়িবে না (7ছ নং চিত্র)। ইহার কারণ এই যে পাতলা কাগজের মধ্য দিয়া তাপ শীঘ্র জলে চলিয়া যায়। কাজেই জল ক্রমশ উত্তপ্ত হইয়া ফুটিবে কিন্তু কাগজ যথেষ্ট গরম হইবে না এবং পুড়িবে না। কিন্তু পাত্রটি যদি মোটা কাগজের হয় তবে পুড়িয়া যাইবে কারণ মোটা কাগজের ভিতর দিয়া তাপ দ্রুত যাইতে পারে না। অর্থাৎ, মোটা কাগজ তাপের কুপরিবাহী।

কাগজের পাত্র পরীক্ষা
চিত্র 7ছ

(2) অগ্নিশিখা ও তারের জাল পরীক্ষা :

একটি জলন্ত বুন্‌সের বার্নারের (অভাবে মোমবাতি) শিখার উপর একটি তামার তারের জাল চাপিয়া ধরিলে দেখা যাইবে যে শিখা জাল ভেদ করিয়া উপরে উঠিতে পারে না ; জালের নীচে জলিতে থাকে [7জ (*i*) চিত্র]। ইহার কারণ এই যে তামা তাপের সুপরিবাহী। শিখা জালের সংস্পর্শে

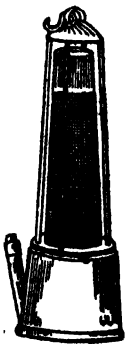
আসিবামাত্র জাল তাপ চতুর্দিকে ছড়াইয়া দেয়। ফলে জালের উপরের গ্যাস উত্তপ্ত হইতে পারে না এবং জ্বলনবিন্দুতে (ignition point) পৌঁছায় না।

অগ্নিশিখা ও তামার জাল পরীক্ষা
চিত্র 7জ

এইবার বার্নার নিভাইয়া বার্নারের কিছু উপরে জালটি রাখ এবং গ্যাস খুলিয়া দাও। গ্যাস জাল ভেদ করিয়া উপরে উঠিবে। উপরের অংশে আগুন দিয়া গ্যাস জ্বালাইলে দেখা যাইবে যে শিখা শুধু জালের উপরেই রহিল ; নীচে প্রসারিত হইল না। [7জ (ii) নং চিত্র]। ইহার কারণও এই যে তামার জাল তাপ চতুর্দিকে ছড়াইয়া দেওয়াতে তলার গ্যাস জ্বলনবিন্দুতে পৌঁছায় না।

[দ্রষ্টব্য : এই শেষের পরীক্ষাটি মোমবাতির দ্বারা হইবে না।]

(3) **ডেভীর নিরাপত্তা বাতি** (Davy's safety lamp) **:**

পূর্ববর্ণিত তামার জালের সুপরিবাহিতাকে প্রয়োগ করিয়া স্যার হাম্‌ফ্রে ডেভী এক নিরাপত্তা বাতির উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। বিস্ফোরক গ্যাসপূর্ণ খনিতে এই বাতি ব্যবহার করা যাইতে পারে।

7ঝ নং চিত্রে এই বাতির আকৃতি দেখানো হইল। এই বাতির অগ্নিশিখাকে একটি ঠাস্-বুনন তামার জাল দিয়া ঘিরিয়া রাখা হয়। বিস্ফোরক গ্যাসপূর্ণ স্থানে এই বাতি জ্বালাইলে বাহির হইতে গ্যাস জাল ভেদ করিয়া বাতির ভিতরে অল্প অল্প ঢুকিবে এবং ভিতরের অগ্নি-সংস্পর্শে জ্বলিবে কিন্তু তামার জাল সুপরিবাহী বলিয়া তাপ চতুর্দিকে ছড়াইয়া দিবে এবং বাহিরের গ্যাসকে শীঘ্র জ্বলন-বিন্দুতে পৌঁছাইতে দিবে না। কাজেই কোন বিস্ফোরণ হইবে না। বিস্ফোরক গ্যাস বাতির ভিতর ঢুকিলে শিখার রং বদলাইয়া যায় এবং তাহা দ্বারা ঐ গ্যাস সম্বন্ধে খনির লোক সচেতন হয়। এই বাতিতে এমন পরিমাণ তেল লওয়া হয় যে

ডেভীর নিরাপত্তা বাতি
চিত্র 7ঝ

বাহিরের গ্যাস অল্প অল্প উত্তপ্ত হইয়া যতক্ষণে জ্বলন বিন্দুতে পৌঁছায় ততক্ষণে তেলও নিঃশেষ হইয়া যায় এবং বাতি নিভিয়া যায়।

আজকাল খনিতে বৈদ্যুতিক বাতি ব্যবহার করা হয়। কিন্তু খনিতে বিস্ফোরক গ্যাস আছে কি-না তাহার পরীক্ষা ডেভীর নিরাপত্তা বাতি দ্বারাই করা হয়।

7-9. তাপ পরিবহণের কতকগুলি ব্যবহারিক দৃষ্টান্ত (Some practical illustrations of conduction of heat) **:**

(1) শীতকালে আমরা যে গরম পোশাক ব্যবহার করি তাহা আসলে গরম নহে। যে-কোন তথাকথিত 'গরম' পোশাক ও অন্যান্য পোশাক থার্মোমিটার দ্বারা পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে উহাদের তাপমাত্রা সমান। তবে শীতকালে গরম পোশাক পরিলে শীত লাগে না বলিয়া উহাদের গরম বলা হয়। ঐ পোশাক পশমের তৈয়ারী বলিয়া উহার ভিতর অসংখ্য ছিদ্র থাকে এবং ঐ ছিদ্রগুলি বায়ুপূর্ণ থাকে। বায়ু তাপের কুপরিবাহী। সুতরাং পশমের পোশাক পরিলে উক্ত বায়ুস্তর আমাদের দেহের তাপকে বাহিরে যাইতে দেয় না। কাজেই দেহ গরম থাকে। কিন্তু সূতীবস্ত্রের আঁশগুলি আলগাভাবে থাকে না বলিয়া ইহাদের ভিতর বায়ুস্তরও থাকিতে পারে না। এই কারণে সূতীবস্ত্র কম তাপ-নিবারক।

একই কারণে একটি জামা পরিলে শীতকালে যতটা আরাম বোধ হয় একটি জামার সমান পুরু কিন্তু দুইটি জামা গায়ে দিলে অনেক বেশী আরাম বোধ হয়। দুইটি জামা গায়ে দিলে দুই জামার মাঝখানে একটি বায়ুস্তর আবদ্ধ থাকে। এই আবদ্ধ বায়ুস্তর চলাচল করিতে পারে না বলিয়া দেহের তাপ পরিচলন পদ্ধতিতে দেহের বাহিরে যাইতে পারে না ; আবার পরিবহণ প্রণালীতেও তাপ বাহিরে যাইতে পারে না কারণ বায়ু নিজে তাপের কু-পরিবাহী। ফলে, দেহের তাপ দেহে আবদ্ধ থাকে এবং বেশ আরাম বোধ হয়।

দুইটি জামার বদলে সমান পুরু একটি জামা গায়ে দিলে ঐ জামার কাপড়ের আঁশগুলির মধ্যে যতটুকু বায়ু আটকা থাকে তাহাই তাপ চলাচলের বাধা সৃষ্টি করে। কাজেই দেহের তাপ তত ভালভাবে রক্ষিত হয় না।

তোমরা হয়ত লক্ষ্য করিয়াছ যে নতুন লেপ গায়ে দিলে যত আরাম বোধ হয় পুরাতন লেপে তত হয় না। ইহার কারণও একই। নতুন লেপের তূলার ভিতর যথেষ্ট বায়ু আবদ্ধ থাকে কিন্তু পুরাতন লেপে তূলাগুলি পিষ্ট হইবার জন্য তত বায়ু থাকে না।

(2) কাচের বোতলের ছিপি বোতলের মুখে শক্তভাবে আটকাইয়া গেলে বোতলের মুখ একটু গরম করিলেই ছিপি আলগা হয়।

ইহার কারণ এই যে কাচ তাপের কুপরিবাহী। তাপ পাইয়া বোতলের মুখ প্রসারিত হয় কিন্তু কাচ সেই তাপ ছিপিতে পরিবহণ করিতে বেশ কিছু সময় নেয়। ফলে ছিপি প্রসারিত হয় না এবং আলগা হইয়া যায়।

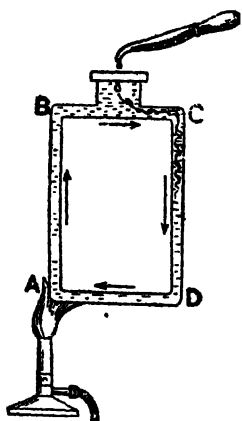
(3) কোন ঠাণ্ডা ঘরের ধাতব বস্তুতে হাত দিলে বেশ শীতল মনে হয়, কিন্তু কাঠের জিনিস তত শীতল মনে হয় না, যদিও থার্মোমিটারের সাহায্যে দেখানো যাইতে পারে যে উভয় বস্তুরই তাপমাত্রা এক। ইহার কারণ এই যে, ধাতব বস্তু তাপের সুপরিবাহী বলিয়া হাত হইতে শীঘ্র তাপ টানিয়া লয়। সেইজন্য ধাতব বস্তু স্পর্শ করিলেই ঠাণ্ডার অনুভূতি হয়। কিন্তু কাঠ তাপের সুপরিবাহী নয় বলিয়া ঐরূপ ঠাণ্ডার অনুভূতি হয় না।

ঠিক একই কারণে একখণ্ড লোহা ও একখণ্ড কাঠ বাহিরের রৌদ্রে কিছুক্ষণ ফেলিয়া রাখার পর স্পর্শ করিলে লোহা বেশী গরম বলিয়া মনে হইবে, যদিও উভয়েরই তাপমাত্রা সমান।

(4) কেটলির হাতলে বেত জড়ানো থাকে এবং ফুটন্ত জলপূর্ণ কেটলি ঐ হাতলদ্বারা ধরিলে বেশী গরম লাগে না। ইহার কারণ এই যে বেত তাপের কুপরিবাহী।

(5) বরফের টুকরাকে সাধারণত কাঠের গুঁড়া দিয়া ঢাকিয়া রাখা হয় এবং ঐ অবস্থায় বরফ না গলিয়া অনেকক্ষণ থাকে। ইহার কারণ কাঠের গুঁড়া তাপের কুপরিবাহী। বাহির হইতে তাপ গুঁড়া ভেদ করিয়া বরফে পৌঁছায় না। সুতরাং বরফও গলে না।

(6) গ্রামাঞ্চলে খড়ের ছাদযুক্ত বাসগৃহ দেখিতে পাওয়া যায়। খড় তাপের কুপরিবাহী। তাই গ্রীষ্মকালে ছাদ ভেদ করিয়া তাপ গৃহে প্রবেশ করিতে পারে না বলিয়া গৃহের অভ্যন্তর শীতল থাকে। আবার শীতকালে অভ্যন্তরস্থ তাপ বাহিরে যাইতে পারে না বলিয়া শীতকালে ঐ বাসগৃহ গরম থাকে। টিনের ছাদযুক্ত গৃহে তাহা হয় না। টিন তাপের সুপরিবাহী হওয়াতে ঐ গৃহ গরমকালে অত্যধিক গরম ও শীতকালে ঠাণ্ডা হইবে।

7-10. তাপ পরিচলনের কয়েকটি পরীক্ষা :

(1) 7ঞ নং চিত্রে প্রদর্শিত পাত্রের মত একটি চতুষ্কোণ কাচের পাত্র লইয়া জলপূর্ণ কর। পাত্রের মুখে এক টুকরা নীল ছাড়িয়া দিয়া যে কোন লম্বা বাহুতে (ধর AB) তলা হইতে তাপ প্রয়োগ কর। দেখিবে AB বাহু দিয়া পরিষ্কার জল উপরে উঠিবে এবং CD বাহু দিয়া নীল জল নীচে নামিবে এবং এইভাবে একটি জলস্রোতের সৃষ্টি হইবে। কিছুক্ষণ পরে সমস্ত জল একই তাপমাত্রায় আসিবে। উত্তপ্ত জলের স্রোত দ্বারা তাপের এই সঞ্চালনকে **পরিচলন** বলে এবং এই স্রোতকে **পরিচলন স্রোত** (convection current) বলে।

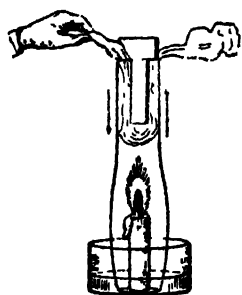
জলে পরিচলন স্রোত

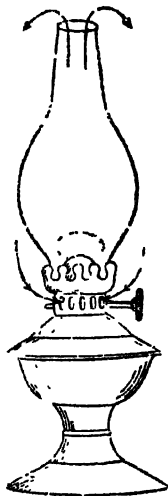
চিত্র 7ঞ

(2) জলের মত বায়ুতেও পরিচলন স্রোত সৃষ্টি হয়। নিম্নলিখিত পরীক্ষাদ্বারা বায়ুতে পরিচলন স্রোত দেখানো যাইবে।

একটি পাত্রে কিছু জল ঢালিয়া উহার মধ্যে একটি জলন্ত মোমবাতি বসাও। বাতিটিকে একটি কাচের চিম্‌নি দিয়া এমনভাবে ঢাকিয়া দাও যেন চিমনির তলদেশ জলে ডুবিয়া থাকে (7ট নং চিত্র)। দেখিবে শিখাটি আস্তে আস্তে ক্ষীণ হইয়া নিভিয়া যাইবে। কারণ চিম্‌নির ভিতরের হাওয়ার অক্সিজেন পুড়িয়া গেলে নতুন হাওয়া তলা দিয়া জলভেদ করিয়া আসিতে পারে না। কাজেই চলাচলের পথ বন্ধ হইয়া যাওয়াতে বায়ুতে পরিচলন স্রোতের সৃষ্টি হয় না। সেইজন্য কিছুক্ষণ পরে শিখাটি নিভিয়া যায়।

বায়ুতে পরিচলন স্রোত

চিত্র 7ট

এইবার বাতিটিকে পুনরায় জ্বালিয়া একটি মোটা কাগজকে T অক্ষরের মতন কাটিয়া ছবিতে যেমন দেখানো হইয়াছে তেমনি চিমনির মুখে রাখ। ইহা চিম্‌নিকে দুইটি প্রকোষ্ঠে ভাগ করিবে। ইহাতে চিম্‌নির ভিতরে পরিচলন স্রোতের সৃষ্টি হইবে এবং বাতি জ্বলিতে থাকিবে।

একখণ্ড ব্লটিং কাগজ তার্পিন তেলে ভিজাইয়া শুষ্ক কর এবং উহাতে অগ্নিসংযোগ কর। কাগজটি প্রচুর ধূম সৃষ্টি করিবে। এই ধূমায়মান কাগজকে চিম্‌নির মুখে ধরিলে দেখিবে যে ধূম T কাগজের একপাশ দিয়া চিম্‌নিতে প্রবেশ করিতেছে এবং অপর পাশ দিয়া বাহির হইয়া যাইতেছে। এই ধোঁয়ার গতি প্রমাণ করে যে চিম্‌নির ভিতরে বায়ুর পরিচলন স্রোত সৃষ্টি হইয়াছে। ইহাতে শিখাটি অক্সিজেন পাইয়া অনেকক্ষণ জ্বলিতে থাকে।

(3) টেব্‌ল ল্যাম্প বা হ্যারিকেন লণ্ঠন জ্বলিবার পিছনেও বায়ুর এই পরিচলন স্রোত দায়ী। লক্ষ্য করিলে দেখিবে যে বাতির চিম্‌নি যে ফ্রেমের সহিত আটকানো তাহাতে কয়েকটি ছিদ্র আছে। যখন বাতি জ্বলে তখন বাতির উপরকার বায়ু গরম হইয়া উপরে উঠে এবং পাশের ঠাণ্ডা হাওয়া এই ছিদ্র দিয়া চিম্‌নিতে প্রবেশ করে এবং অক্সিজেন সরবরাহ করে [চিত্র নং 7ঠ]। তখন শিখা জ্বলিতে থাকে।

টেব্‌ল ল্যাম্প জ্বলিবার জন্য বায়ুতে পরিচলন স্রোত প্রয়োজন
চিত্র 7ঠ

এই ছিদ্রগুলি যদি মোম দিয়া বন্ধ করা যায় তবে নতুন হাওয়া ঢুকিতে পারে না এবং শিখাটি কিছুক্ষণ জ্বলিয়া পরে নিভিয়া যায়।

(4) একটি জ্বলন্ত উনুনের ঠিক উপরে কিছু দূরে হাত রাখিলে যতটা গরম বোধ হয় সমান দূরে উনুনের পাশে হাত রাখিলে ততটা গরম বোধ হয় না। ইহার কারণ এই যে উনুনের উপরের বায়ু উত্তপ্ত হইয়া হাল্‌কা হয় এবং উপরে উঠিয়া যায় এবং পার্শ্ববর্তী স্থান হইতে অপেক্ষাকৃত শীতল বায়ু আগুনের দিকে প্রবাহিত হয়। এইভাবে একটি পরিচলন স্রোতের সৃষ্টি হয়। ইহাতে উপরের বায়ু দ্রুত উত্তপ্ত হইয়া পড়ে এবং হাতে বেশ গরম লাগে। উনুনের পাশে তাপ সঞ্চালিত হইবার জন্য পরিবহণ ও বিকিরণ দায়ী। কিন্তু বায়ু তাপের কুপরিবাহী বলিয়া পরিবহণ প্রণালীতে বিশেষ কিছু তাপ সঞ্চালিত হইবে না। যেটুকু তাপ সঞ্চালিত হইবে তাহা বিকিরণের দরুন হইবে। তাছাড়া, পরিচলন স্রোতের জন্য আশপাশ হইতে ঠাণ্ডা বায়ু উনুনের দিকে অগ্রসর হইয়া উনুনের পাশের তাপ অনেক হ্রাস করিয়া দেয়।

7-11. বিভিন্ন কার্যে ও প্রকৃতিতে পরিচলন প্রক্রিয়ার প্রয়োগ

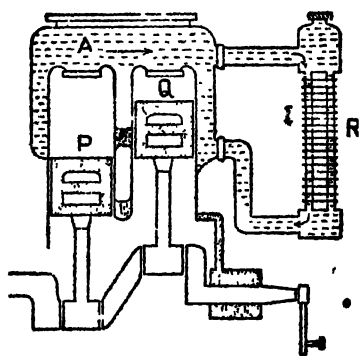
(Practical applications of convection of heat for different purposes and in nature) :

(1) উষ্ণ বায়ুদ্বারা ঘর গরম রাখা :

শীতপ্রধান দেশে বাড়ীঘর গরম রাখার জন্য উষ্ণ বায়ুর পরিচলন স্রোতকে কাজে লাগানো হয়। বাহির হইতে হাওয়া পাইপ দিয়া ঘরে আনিয়া উহাকে গরম করা হয়। হাওয়া গরম হওয়াতে হাল্কা হইয়া উপরে উঠিতে চায় এবং ইহাকে পাইপের সাহায্যে বিভিন্ন ঘরে লইয়া যাওয়া হয়। ফলে ঐ ঘরগুলি গরম থাকে। হাওয়া তাপ ছাড়িয়া ঠাণ্ডা হইলে ভারী হইয়া পড়ে। তখন উহা আবার নীচে আসে এবং উহাকে পুনরায় গরম করা হয়। এইভাবে বায়ুতে পরিচলন স্রোত সৃষ্টি করিয়া ঘরবাড়ী গরম রাখা হয়। এই ধরনের ব্যবস্থাকে 'central heating' বলে।

(2) মোটর গাড়ীর এঞ্জিন শীতলীকরণ ব্যবস্থা (Cooling system of an automobile engine) :

মোটর গাড়ীর এঞ্জিনের সিলিণ্ডারের ভিতর পিস্টন (7ড নং চিত্রে P, Q প্রভৃতি) ওঠানামা করার সময় পেট্রল বাষ্পের দহন হয়। তাহার ফলে প্রচুর তাপ সৃষ্টি এই কারণে সিলিণ্ডারগুলিকে শীতল রাখিবার জন্য ব্যবস্থা করা হয়। 7ড নং চিত্রে এই শীতলীকরণ ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে।

A একটি জলাধার যাহা সিলিণ্ডারগুলিকে বেষ্টন করিয়া থাকে। এই জলাধারের একপ্রান্ত তাপ-বিকিরক (radiator) R-এর উর্ধ্বাংশের সহিত এবং অপর প্রান্ত নিম্নাংশের সহিত যুক্ত। এই বিকিরক একটি ফাঁপা ধাতব চোঙ। ইহার গায়ে কতকগুলি ধাতুনির্মিত পাখনাবিশেষ (fins) যুক্ত থাকে। ইহারা বিকিরক-তলের (radiating surface) ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করে। ইহাতে দ্রুত তাপ-ত্যাগের সুবিধা হয়। সিলিণ্ডারের তাপ জলে সঞ্চালিত হইবার ফলে জল উত্তপ্ত

মোটর গাড়ীর রেডিয়েটর
চিত্র নং 7ড

হয় এবং এই উষ্ণ জল বিকিরকের মধ্য দিয়া নীচে প্রবাহিত হইবার সময় তাপ ছাড়িয়া দিয়া ঠাণ্ডা হইয়া যায়। এইভাবে ক্রমাগত জলের পরিচলন স্রোতের দ্বারা সিলিণ্ডারগুলি শীতল রাখা হয়।

(3) **ঘরে বায়ু চলাচল** (Ventilation in a room) :

বায়ুতে পরিচলন-স্রোতের সৃষ্টির জন্য ঘরে বায়ু চলাচল প্রক্রিয়া সম্ভব হয়। ঘরে বেশী লোক থাকিলে তাহাদের নিঃশ্বাস-প্রশ্বাসে বা আগুন জ্বালিয়া রাখিলে ঘরের বায়ু দূষিত হয়। এই দূষিত ও উত্তপ্ত বায়ু হাল্কা হওয়ায় উপরে উঠিয়া যায় এবং ঘুলঘুলি (ventilator) দিয়া বাহির হইয়া যায়। বাহির হইতে ঠাণ্ডা ও পরিষ্কার বায়ু জানালা-দরজা দিয়া ঘরে প্রবেশ করে। ইহাতে ঘরের বায়ুমণ্ডল বিশুদ্ধ থাকে।

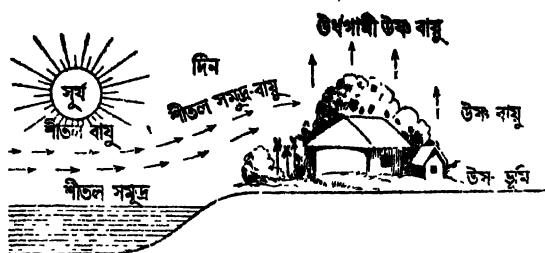
ঘরের দরজা-জানালা বন্ধ করিয়া বায়ু চলাচলের পথ সম্পূর্ণ রুদ্ধ করিয়া যদি কেহ বাতি জ্বালাইয়া রাত্রিতে নিদ্রা যায় তবে তাহার প্রাণহানির আশঙ্কা থাকে। এই ধরনের দুর্ঘটনার সংবাদ তোমরা হয়ত শুনিয়াছ। ইহার কারণ এই যে নিঃশ্বাস-প্রশ্বাসে ও বাতি জ্বালিবার ফলে রুদ্ধ-গৃহের অক্সিজেন শীঘ্র নিঃশেষিত হইয়া যায় এবং বায়ু চলাচলের পথ না থাকায় বাহির হইতে পরিষ্কার বায়ু অক্সিজেন সরবরাহ করিতে পারে না। তাই অক্সিজেনের অভাবে লোকের মৃত্যু হয়।

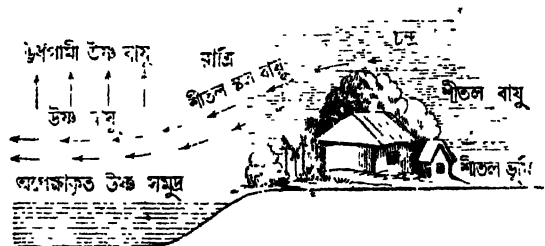
(4) **বায়ু-প্রবাহ** (Wind) :

নানা সময় ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানের উষ্ণতা বিভিন্ন হয়। ইহার জন্য বায়ু-মণ্ডলের উষ্ণতা ও আর্দ্রতাও বিভিন্ন হয়। উষ্ণ বাষ্পপূর্ণ বায়ু হাল্কা হইয়া উপরে উঠে এবং পার্শ্ববর্তী ঠাণ্ডা স্থান হইতে অপেক্ষাকৃত শীতল ও শুষ্ক বায়ু উক্ত স্থানে প্রবাহিত হয়। এই কারণে প্রকৃতিতে মৌসুমী বায়ু, বাণিজ্য বায়ু প্রভৃতি নানাপ্রকারের বায়ুপ্রবাহ সৃষ্টি হয়।

(5) **স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু** (Land and Sea breeze) :

প্রকৃতিতে বায়ুর পরিচলন স্রোতের জন্য স্থল-বায়ু ও সমুদ্র বায়ুর সৃষ্টি হয়। জল অপেক্ষা স্থলের আপেক্ষিক তাপ কম। কাজেই, দিনের বেলাতে স্থল জল অপেক্ষা বেশী উত্তপ্ত হয় এবং তৎসংলগ্ন হাওয়া গরম হইয়া উপরে উঠে ও সমুদ্র হইতে ঠাণ্ডা হাওয়া স্থলের দিকে প্রবাহিত হয়। ইহাকে **সমুদ্রবায়ু** বলে

[চিত্র 7ট (i)]। ইহা দিনের বেলায় প্রবাহিত হয় এবং সন্ধ্যার দিকে সর্বাপেক্ষা প্রবল হয়।

সমুদ্রবায়ু
চিত্র 7ট (i)

রাত্রে জল অপেক্ষা স্থল দ্রুত ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। সুতরাং সমুদ্রের উপর গরম হাওয়া উপরে উঠিয়া যায় এবং স্থল হইতে অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা হাওয়া

স্থলবায়ু
চিত্র 7ট (ii)

সমুদ্রের দিকে প্রবাহিত হয়। ইহাকে **স্থলবায়ু** বলে [চিত্র 7ট (ii)]। ইহা ভোরের দিকে সর্বাপেক্ষা প্রবল হয়।

7-12. বিকীর্ণ তাপের ধর্ম (Properties of radiant heat):

পূর্বে বলা হইয়াছে যে কোন জড় মাধ্যমের সাহায্য না লইয়া অথবা জড় মাধ্যম থাকিলে তাহাকে উত্তপ্ত না করিয়া যে-প্রণালীতে তাপ একস্থান হইতে অন্য স্থানে সঞ্চালিত হয় তাহাকে বিকিরণ বলে। সূর্য হইতে এই প্রণালীদ্বারা তাপ পৃথিবীতে পৌছায়।

প্রকৃতপক্ষে যে-কোন উত্তপ্ত বস্তুই তাপ বিকিরণ করে এবং এই বিকীর্ণ তাপের সঙ্গে আলোকের সাদৃশ্য আছে। নিম্নে বর্ণিত ধর্মগুলি হইতে এই সাদৃশ্য বোঝা যাইবে।

(1) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপ উত্তপ্ত বস্তু হইতে চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে। একটি উত্তপ্ত ধাতব বলের চতুর্দিকে হাত ঘুরাইলে উপরোক্ত বাক্যের সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

(2) বিকীর্ণ তাপ আলোকের ন্যায় শূন্যস্থান দিয়া চলাচল করিতে পারে। ইহার প্রমাণ সূর্য হইতে পৃথিবীতে তাপ পৌছানো, কারণ, সূর্য ও পৃথিবীর ভিতর বেশীর ভাগ জায়গা শূন্য।

(3) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপ সরলরেখায় চলে। ইহার ফলেই ছাতা খুলিয়া সূর্যের তাপ হইতে দেহরক্ষা করা যায়।

(4) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপেরও প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয়। লেনস্ দ্বারা সূর্যরশ্মি প্রতিসৃত করিয়া কাগজ পোড়ানো তোমরা অনেকেই দেখিয়াছ।

(5) বিকীর্ণ তাপের গতিবেগ আলোকের গতিবেগের সমান।

7-13. বিকীর্ণ তাপের প্রকৃতি (Nature of radiant heat) :

পূর্ব অনুচ্ছেদে বিকীর্ণ তাপের ধর্ম আলোচনা করার সময় বলা হইয়াছে ইহার সহিত আলোকের সাদৃশ্য আছে। বস্তুত বিকীর্ণ তাপ ও আলোক অভিন্ন। ইহারা একটি সাধারণ গোষ্ঠীর অন্তর্গত। এই গোষ্ঠীকে বলা হয় তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ (electro-magnetic waves) গোষ্ঠী। গামারশ্মি, রঞ্জনরশ্মি, দৃশ্যমান আলোক, বিকীর্ণ তাপ, বেতার তরঙ্গ—ইহারা সকলেই এই গোষ্ঠীভুক্ত। ইহারা সকলেই ইথার মাধ্যমে প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 186,000 মাইল বেগে চলাচল করে। ইহাদের মধ্যে তফাৎ শুধু তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যে। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 5 metres হইতে 25,000 metres হইলে উহাকে বেতার-তরঙ্গ বলা হয় এবং উহা দ্বারা বেতার-যন্ত্রের কাজ হয়। এই তরঙ্গ আমাদের চোখে আলোকের বা দেহে তাপের অনুভূতি সৃষ্টি করে না। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য আরো ক্ষুদ্র হইয়া 4×10^{-2} cm. এবং 8×10^{-5} cm-এর মধ্যবর্তী হইলে উহা তাপানুভূতির সৃষ্টি করিবে। তখন উহাকে বিকীর্ণ তাপ তরঙ্গ বলা হইবে। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ক্রমশ ছোট হইতে থাকিলে উহা যথাক্রমে দৃশ্যমান আলো, রঞ্জনরশ্মি ইত্যাদি উৎপন্ন করে।

কোন বস্তু কম উত্তপ্ত হইলে—অর্থাৎ লাল টকটকে হইবার পূর্ব পর্যন্ত—ইহা হইতে অপেক্ষাকৃত দীর্ঘ তাপ-তরঙ্গ নির্গত হয়। এই বিকীর্ণ তাপ-তরঙ্গকে **অবলোহিত তরঙ্গ** (infra-red waves) এই নামেও অভিহিত করা হয়। এই অবলোহিত তরঙ্গের অনেক ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে। বস্তুটি উত্তপ্ত হইয়া লাল টকটকে হইলে

উহা হইতে তাপ-তরঙ্গ ছাড়া লোহিত বর্ণের আলোকতরঙ্গও উৎপন্ন হয়। দৃশ্যমান আলোক তরঙ্গগুলির ভিতর লোহিত বর্ণের তরঙ্গের দৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা বেশী। এই কারণে উত্তপ্ত বস্তুটিকে লাল দেখায়। বস্তুটি আরো উত্তপ্ত হইয়া শ্বেত-তপ্ত (white-hot) হইলে উহা তাপ-তরঙ্গ ছাড়া সকল বর্ণ সৃষ্টিকারী দৃশ্যমান আলোকতরঙ্গগুলিও সৃষ্টি করে। সকল বর্ণের সংমিশ্রণে তখন বস্তুটি সাদা দেখায়।

7-14. বিকিরণ ও শোষণ সম্পর্কে কয়েকটি প্রয়োজনীয় উদাহরণ (Some important illustrations in connection with radiation and absorption) :

প্রত্যেক পদার্থেরই তাপ বিকিরণ ও শোষণ করিবার ক্ষমতা আছে। ইহা পদার্থের কয়েকটি বিষয়ের (factors) উপর নির্ভর করে—যেমন, বস্তুটির তাপমাত্রা এবং পরিপার্শ্বের তাপমাত্রা, বস্তুটির পৃষ্ঠের প্রকৃতি, বস্তুটি কি পদার্থে তৈয়ারী ইত্যাদি। ইহা সহজেই প্রমাণ করা যায় যে, যে-পদার্থ উত্তম বিকিরক তাহা উত্তম শোষকও বটে। আবার, যে পদার্থ উত্তম বিকিরক নয়, শোষক হিসাবেও তাহা উত্তম নয়। যেমন কৃষ্ণ বস্তু (black body) তাপের উত্তম বিকিরক ও উত্তম শোষক কিন্তু চক্‌চকে বস্তু তাপের মন্দ বিকিরক এবং মন্দ শোষক। বিকিরণ এবং শোষণ সম্পর্কে কয়েকটি প্রয়োজনীয় উদাহরণ নিম্নে দেওয়া হইল :—

(1) হাঁড়ির তলা চকচকে থাকিলে তাহাতে জল গরম করিতে যে-সময় লাগে তলা কালো এবং অমসৃণ থাকিলে অনেক কম সময়ে জল গরম হয়। কালো এবং অমসৃণ হওয়ায় হাঁড়ির ঐ তলা আগুন হইতে বেশী তাপ শোষণ করিবে কিন্তু চক্‌চকে হইলে অনেক কম তাপ শোষণ করিবে, বেশীর ভাগ তাপ চক্‌চকে তল হইতে প্রতিফলিত হইয়া যাইবে। সুতরাং জল গরম হইতে সময়ের তারতম্য হইবে। তোমরা হয়ত লক্ষ্য করিয়াছ যে হাঁড়িতে ভাত রাঁধিবার ধাতব হাড়ির তলা মাটি দিয়া লেপিয়া দেওয়া হয় এবং আগুনে পুড়িয়া উহা কালো হইয়া থাকে। ইহাতে রন্ধনদ্রব্য দ্রুত তাপ পাইয়া সিদ্ধ হয়।

একই কারণে চক্‌চকে পালিশ করা জুতা পরিলে আরাম বোধ হয়।

(2) শীতকালে কালো রংয়ের জামা গায়ে দেওয়া এবং গরম কালে সাদা জামা গায়ে দেওয়া আরামপ্রদ, ইহা তোমরা লক্ষ্য করিয়াছ কি ? কালো জামা সূর্য হইতে বিকীর্ণ তাপ শোষণ করিয়া দেহকে উত্তপ্ত রাখে। তাই শীতকালে কালো জামা গায়ে দিলে দেহ গরম থাকে এবং আরাম অনুভব করা যায়।

আবার গরম কালে সাদা জামা সূর্য কিরণের বেশীর ভাগ প্রতিফলিত করিয়া দেয়—খুব অল্প অংশ শোষণ করে। তাই দেহ বিশেষ গরম হইতে পারে না।

(3) ছাতার কাপড় কালো রংয়ের করা হয় তাহা তোমরা নিশ্চয়ই দেখিয়াছ। ইহার কারণ আছে। কৃষ্ণ বস্তু উত্তম বিকিরক বলিয়া ছাতার কালো কাপড়ে সূর্য রশ্মি পড়িলে তাপ চতুর্দিকে বিকীর্ণ হইয়া যায়। বিকীর্ণ তাপ বায়ুর ভিতর দিয়া চলাচল করিলে বায়ু উত্তপ্ত হয় না। তাই গ্রীষ্মকালে রৌদ্রের ভিতর ছাতা খুলিয়া চলিলে তত গরম বোধ হয় না।

(4) শুষ্ক বায়ু আর্দ্র বায়ু অপেক্ষা কম তাপ শোষণ করে—অর্থাৎ শুষ্ক বায়ু তাপের মন্দ শোষক। তাই, শীতকালে, যেদিন মেঘলা থাকে সেদিন বায়ু খুব আর্দ্র হইয়া পড়ে। ফলে বায়ু সূর্যরশ্মি হইতে বেশী তাপ শোষণ করিয়া উত্তপ্ত হয় এবং সেদিন তেমন শীত অনুভূত হয় না। আবার যেদিন আকাশ পরিষ্কার থাকে, বায়ুও শুষ্ক হয় এবং কম তাপ শোষণ করে। তাই সেদিন শীতের প্রকোপ বেশী হয়।

(5) দুইটি থার্মোমিটার লইয়া একটির কুণ্ডে ঝুল মাখাইয়া কৃষ্ণবর্ণ কর এবং অপরটির কুণ্ডে একটু রূপার প্রলেপ দিয়া চকচকে কর। এখন দুইটি থার্মো-মিটারকে পাশাপাশি রৌদ্রে রাখিয়া দিলে কিছুক্ষণ পরে দেখিতে পাইবে যে প্রথম থার্মোমিটারের পাঠ দ্বিতীয়টি হইতে বেশী হইয়াছে। ইহা প্রমাণ করে যে একই পারিপার্শ্বিক অবস্থায় থাকিয়া কৃষ্ণবস্তু চকচকে বস্তু অপেক্ষা বেশী তাপ শোষণ করিবার ক্ষমতা রাখে।

(6) বিকীর্ণ তাপ-তরঙ্গ সম্পর্কে বিভিন্ন বস্তুর স্বচ্ছতা বিভিন্ন—অর্থাৎ, এক এক রকমের বস্তু এক এক রকমের তাপ-তরঙ্গকে সংবাহিত (transmit) করে—অন্য তাপ-তরঙ্গকে করে না। এই সম্পর্কে কাচ একটি উৎকৃষ্ট উদাহরণ। খুব উত্তপ্ত বস্তু হইতে নির্গত অপেক্ষাকৃত ছোট দৈর্ঘ্যের তাপ-তরঙ্গ কাচের ভিতর দিয়া চলিয়া যাইতে পারে কিন্তু কম উত্তপ্ত বস্তু হইতে বিকীর্ণ অপেক্ষাকৃত দীর্ঘ তাপ-তরঙ্গ কাচ ভেদ করিতে পারে না। কাচের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া দুষ্প্রাপ্য ও বহুমূল্য উদ্ভিদ, গাছপালা, ফুল ইত্যাদি সংরক্ষণের জন্য 'গ্রীন-হাউস' (green house) নির্মাণ করা হয়। সূর্য খুব উত্তপ্ত বলিয়া ক্ষুদ্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সূর্যকিরণ অনায়াসে গ্রীন-হাউসের কাচ ভেদ করিয়া অভ্যন্তরে প্রবেশ করিতে পারে; কিন্তু ঐ তাপে উত্তপ্ত হইয়া গাছপালা বা মাটি যখন তাপ-তরঙ্গ বিকিরণ করে তখন উহা কাচ ভেদ করিয়া বাহিরে

যাইতে পারে না ; কারণ উহাদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত বড়। এই কারণে শীতপ্রধান দেশে গ্রীন-হাউসের অভ্যন্তর বেশ গরম থাকে।

7-15. থার্মোফ্লাস্ক (Thermo flask) :

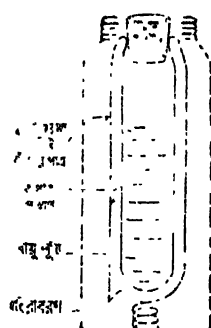
এই ফ্লাস্কে কোন উষ্ণ তরল (চা, দুধ প্রভৃতি) বহুক্ষণ উষ্ণ থাকে কিংবা কোন ঠাণ্ডা তরল বহুক্ষণ ঠাণ্ডা থাকে। ইহার কারণ এই যে, ইহার নির্মাণ-কৌশল বাহির হইতে ভিতরের সহিত তাপ সঞ্চালনের তিনপ্রকার প্রণালীকেই নিবারণ করে। সুতরাং উষ্ণ তরল তাপ ধরিয়া রাখে আবার ঠাণ্ডা তরল বাহির হইতে তাপ লয় না।

চিত্র 7ণ

7ণ নং চিত্রে একটি ফ্লাস্কের ছবি এবং 7ত নং চিত্রে ইহার নকসা দেখানো হইল। ইহা একটি দুই দেওয়াল বিশিষ্ট কাচের পাত্র। গলার দিকটা একটু সরু এবং মুখ কর্ক দ্বারা বন্ধ করা যায়। এই কাচের পাত্রটি অপর একটি ধাতব পাত্রের আবরণের ভিতর রাখা হয় এবং উভয়ের ভিতর একটি স্প্রিং দেওয়া থাকে। ইহাতে ধাক্কার আঘাতে কাচপাত্রটি ভাঙ্গিতে পারে না। কাচের পাত্রের দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থান যথাসম্ভব বায়ুশূন্য করা হয় এবং বাহিরের দেওয়ালে ভিতরের দিক ও ভিতরের দেওয়ালে বাহিরের দিক খুব পালিশ করা ও রূপার প্রলেপ দেওয়া থাকে।

কাচ তাপের কুপরিবাহী হওয়াতে এই পাত্র হইতে পরিবহণ প্রণালীতে তাপের সঞ্চালন হয় না। দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থান বায়ুশূন্য করাতে পরিচলন প্রণালীতেও তাপ সঞ্চালন সম্ভব নয়। উপরন্তু দুই দেওয়াল মসৃণ ও রূপার প্রলেপ-যুক্ত হওয়াতে বিকিরণের দ্বারা তাপ সঞ্চালনও নিবারিত হয়।

থার্মোফ্লাস্কের নক্শা
চিত্র 7ত

শুধু পাত্রের মুখের ছিপি দ্বারা একটু তাপ পরিবহণ হইতে পারে। এইজন্য গুণ তাপের কুপরিবাহী কর্ক দ্বারা বন্ধ করা হয়।

সুতরাং সকল রকম উপায়ে তাপের আদানপ্রদান বন্ধ হইবার জন্য ইহার অভ্যন্তরস্থ উষ্ণ তরল উষ্ণই থাকিবে অথবা শীতল তরল শীতলই থাকিবে।

তরল বায়ু (liquid air) সংরক্ষণের জন্য স্যার জেমস্ ডেওয়ার এই ফ্লাস্কের উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। এই কারণে এই ফ্লাস্ককে অনেক সময় **ডেওয়ার ফ্লাস্ক** এই নামেও অভিহিত করা হয়।

সারাংশ

তাপ সঞ্চালনের তিনটি পদ্ধতি : (1) পরিবহণ, (2) পরিচলন ও (3) বিকিরণ।

পরিবাহিতা : তাপ পরিবহণের গুণকে পরিবাহিতা বলে। বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতা বিভিন্ন। যে-পদার্থ খুব সহজে তাপ পরিবহণ করে তাহাকে সুপরিবাহী বলে ; যেমন লোহা, তামা ইত্যাদি। যে-পদার্থ খুব সহজে তাপ পরিবহণ করে না তাহাকে কুপরিবাহী বলে ; যেমন—জল, কাচ, কাগজ ইত্যাদি।

একক বেধ ও একক ক্ষেত্রফল-বিশিষ্ট কোন পদার্থখণ্ডের দুই বিপরীত পৃষ্ঠের তাপমাত্রা ভেদ একক হইলে এক সেকেণ্ডে যতখানি তাপ এক পৃষ্ঠ হইতে অপর পৃষ্ঠে লম্বভাবে প্রবাহিত হয় তাহাকে উক্ত পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক বলে।

ডেভীর নিরাপত্তা বাতি তামার সুপরিবাহিতাকে প্রয়োগ করিয়া নির্মিত হইয়াছে। ইহা দ্বারা বিস্ফোরক গ্যাসপূর্ণ খনিতে আলো জ্বালা চলে অথচ বিস্ফোরণের কোন ভয় থাকে না। তাপ পরিচলন প্রক্রিয়াকে প্রয়োগ করিয়া ঘরবাড়ী গরম রাখা হয়। প্রকৃতিতে ইহার প্রয়োগের ফলে স্থায়ী ও চলাচল বায়ুপ্রবাহ, স্থলবায়ু ও সমুদ্র-বায়ু প্রভৃতির সৃষ্টি হয়।

বিকীর্ণ তাপের ধর্ম আলোকের ধর্মের অনুরূপ। ইহা তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ গোষ্ঠীর অন্তর্গত।

থার্মো ফ্লাস্ক এমন একটি পাত্র যাহা উষ্ণ তরলকে বহুক্ষণ উষ্ণ রাখে আবার শীতল তরলকে অনেকক্ষণ শীতল রাখে। ইহার নির্মাণ-কৌশল তাপসঞ্চালনের তিনটি পদ্ধতিকে নিবারণ করে।

প্রশ্নাবলী

1 তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি কি ? ইহাদের উদাহরণ সহযোগে বুঝাইয়া দাও। ইহাদের ভিতর পার্থক্য কি ?

[What are the different modes of transference of heat ? Explain them with illustrations. What is the difference between them ?]

[*H. S. (comp.) 1960, (comp) '61, '63. H S. Exam. 1962*]

2. 'পরিবাহিতা' ও 'পরিবাহিতাঙ্ক' কাহাকে বলে? বিভিন্ন দ্রব্যের পরিবাহিতা বিভিন্ন কি? পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

[What are 'conductivity' and 'thermal 'conductivity'? Are the conductivities of different substances different? Explain by means of an experiment] [*cf. H. S. Exam. 1962*]

3. পদার্থের তাপ ব্যাপনতা কাহাকে বলে? তাপ ব্যাপনতার সহিত পরিবাহিতাঙ্কের সম্পর্ক কি? বিভিন্ন পদার্থের তাপ ব্যাপনতা বিভিন্ন ইহা প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

[What do you mean by diffusivity of a substance? What is the relation between diffusivity and thermal conductivity? Describe an experiment to illustrate that different materials have different diffusivity.]

4. তাপের সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী কাহাকে বলে? উহাদের কয়েকটি উদাহরণ দাও। সুপরিবাহী ও কুপরিবাহীর কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ কর।

[What are good conductors and bad conductors of heat? Give a few illustrations. Mention some of the applications of good conductors and bad conductors.]

5. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :—(ক) রোদে রাখা এক টুকরা লোহা ও একখণ্ড কাঠ স্পর্শ করিলে কোনটি বেশী গরম মনে হয় এবং কেন? (খ) একটি বার্নারের উপর তামার তারের জাল রাখিয়া জালের উপরে অগ্নিসংযোগ করিলে শিখা উপরেই থাকে—নীচে যায় না; কেন? (গ) পশমের পোশাককে গরম বলা হয় কেন? (ঘ) কেটলির হাতলে বেত জড়ানো থাকে কেন?

[Answer the following questions :—(a) If you touch a piece of iron and a piece of wood lying exposed to the heat of the sun which one would feel hotter and why? (b) If a copper wire-gauge is held over a burner and the gas is lighted above the gauge, the flame does not go below the gauge. Why? [*H. S. Exam. 1964*] (c) Why are woolen clothes called warm clothes? [*H. S. Exam. 1964*] (d) Why is the handle of a kettle wrapped with cane?]

6. একটি তামার প্লেটের দৈর্ঘ্য 1 metre, প্রস্থ 1 metre এবং বেধ 1 cm. প্লেটটির দুই বিপরীত পৃষ্ঠের তাপমাত্রাভেদ 10°C হইলে প্রতি মিনিটে প্লেটের ভিতর দিয়া কত তাপ প্রবাহিত হইবে? [তামার পরিবাহিতাঙ্ক = 0·96 C. G. S.]

[A copper plate 1 metre long, 1 metre broad and 1 cm. thick has two opposite faces at a difference of temperature of 10°C. How much heat will flow through the plate per minute? Thermal conductivity of copper = 0·96 C. G. S.] [Ans. 576×10^4 cal.]

7. একটি কাচের জানালার ভিতরের দিকের তাপমাত্রা 80°C এবং বাহিরের দিকের তাপমাত্রা 40°C. জানালার কাচ 0·3 cm. পুরু এবং 2 sq. metres ক্ষেত্রফলযুক্ত। কাচের পরিবাহিতাঙ্ক ·002 হইলে কি হারে জানালা দিয়া তাপ ঘরে প্রবেশ করিবে তাহা নির্ণয় কর।

[The inside and outside temperatures of a glass-window of a room are 30°C and 40°C respectively. The glass is 0·8 cm. thick and has an area of 2 sq. metres. If the thermal conductivity of glass is ·002, calculate the rate at which heat flows into the room from outside through the glass window]

[Ans. $1·8 \times 10^3$ cal/sec.]

8. একটি ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্য 81·41 cm. এবং ব্যাস 4 cm.; দণ্ডের একপ্রান্ত 100°C তাপমাত্রার স্টীমের সহিত এবং অন্যপ্রান্ত 0°C তাপমাত্রার একটি বরফ-খণ্ডের সহিত সম্পর্কযুক্ত। ধাতুর পরিবাহিতাঙ্ক 0·9 হইলে প্রতি মিনিটে কত বরফ গলিবে নির্ণয় কর।

[A metal rod of thermal conductivity 0·9 is 81·41 cm. long and 4 cm. in diameter. One of its ends is kept exposed to steam at 100 C and the other end is put in contact with a block of ice at 0°C. How much ice will melt per minute ?]

[Ans. 27 gms.]

9. একটি ধাতুনির্মিত ফাঁপা ঘনকের প্রত্যেক পার্শ্বের দৈর্ঘ্য 10 cm. এবং উহার প্রত্যেক পার্শ্ব 4 cm. পুরু। ঘনকটি পরিপূর্ণভাবে বরফ দ্বারা ভর্তি করিয়া 10°C তাপমাত্রার জলে বসানো হইল। এক মিনিটে কত বরফ গলিবে ? ধাতুর পরিবাহিতাঙ্ক = 0·5.

[A hollow metallic cube has each side 10 cm long and 4 cm. thick. It is completely filled up by ice and then placed in water at 10°C. How much ice will melt in a minute ? Thermal conductivity of the metal = 0·5]

[Ans. 562·5 gms.]

10. একটি টেস্ট টিউব জলে ভর্তি করিয়া হাতে আনতভাবে উপরের অংশ গরম করা হইল। দেখা গেল যে তলার অংশে হাত দিলে গরম লাগে না। কিন্তু তলার অংশ গরম করিলে উপরের অংশে হাত দিলে গরম লাগে। ইহার দ্বারা কি প্রমাণিত হয় ?

[A test-tube filled with water is held in an inclined position and the upper part is heated. It is found that the lower part when touched with hand does not appear hot but when the lower part is heated and the upper part touched it appears hot. What does it prove ?]

11. 'কাচের পরিবাহিতাঙ্ক ·002'—এই উক্তি দ্বারা কি বোঝা যায় ?

['Co efficient of thermal conductivity of glass is ·002'.—What does this statement mean ?]

12. থার্মোফ্লাস্কের বিবরণ লেখ ও ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[Describe a thermos flask and explain how it acts.]

13. বিকীর্ণ তাপের প্রকৃতি এবং ধর্ম সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত নোট লেখ। বিকীর্ণ তাপের সহিত আলোকের প্রভেদ কি ?

[Write a short note on the nature and properties of radiant heat. How does radiant heat differ from light ?]

14. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ :—(ক) কাগজ না পোড়াইয়া একটি কাগজের বাক্সে জল রাখিয়া জল ফুটানো যায় কেন ? (খ) কোন আগুনের সম্মুখে যতটা গরম ঠিক আগুনের

উপরে সমান দূরত্বে বেশী গরম বোধ হয় কেন? (গ) শীতকালে একটি জামা পরিলে যতটা আরাম বোধ হয়, সমান পুরু দুইটি জামা গায়ে দিলে বেশী আরাম বোধ হয়; কেন? (ঘ) গ্রীষ্মকালে সাদা জামা এবং শীতকালে কালো জামা গায়ে দেওয়া আরামদায়ক কেন? (ঙ) ছাতার কাপড়ের রং কালো করা হয় কেন? (চ) একটি থার্মোমিটারের কুণ্ড চকচকে এবং অপরটির কুণ্ড কৃষ্ণবর্ণ। দুইটিকে পাশাপাশি মেঘমুক্ত রাত্রিতে বাহিরে রাখিয়া দিলে উহাদের পাঠের কি তারতম্য দেখিবে?

[Give reasons for the following statements :—(a) Water may be boiled in a paper box without charing the paper, (b) It is hotter the same distance above a fire than in front of the fire. [H. S (comp) 1961, '62] (c) It is comfortable in winter season to use two shirts, instead of one, but of same thickness and material as of the single shirt. Why? (d) In summer white clothes are preferable while in winter black clothes give us comfort Why? (e) Why is the cloth of an umbrella made black? (f) Two thermometers—one having a polished bulb and other a blackened bulb—are placed side by side outside in a cloudless night. What difference would you notice in their readings and why?]

15 কিছু উত্তপ্ত জল সহ একটি তামার ক্যালরিমিটার ঢাকনা ছাড়া খোলা অবস্থায় রাখা আছে। ঐ ক্যালরিমিটার কি কি উপায়ে তাপ হারাইতে পারে তাহা লেখ এবং প্রতিক্ষেত্রে ঐ ক্ষতিগুলি নিবারণের কি ব্যবস্থা করা যাইতে পারে তাহার উল্লেখ কর।

[An open copper calorimeter contains a quantity of hot water Explain the various processes by which it can lose heat and suggest methods of reducing the loss due to each process.]

16 দুইটি একই ধরনের ধাতব পাত্রে কিছু গরম জল রাখা হইল। একটি পাত্রের বহিরাবরণ খুব চকচকে ও সাদা, এবং অপরটির বহিরাবরণ কৃষ্ণবর্ণ। কোন্ পাত্রের জল তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হইবে? তোমার উত্তরের কারণ বর্ণনা কর।

[Hot water is placed in two identical metal vessels, one with a polished white surface and the other with a black surface Which one will cool more quickly? Give reasons for your answer.]

17. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি প্রদর্শনের জন্য একটি করিয়া পরীক্ষা বর্ণনা কর :—(i) লোহা অপেক্ষা তামা তাপের অধিক সুপরিবাহী (ii) জল তাপের কুপরিবাহী এবং (iii) চকচকে বস্তু অপেক্ষা কৃষ্ণবর্ণ বস্তু তাপের ভাল শোষক।

[Describe experiments, one in each case, to show that (i) copper is a better conductor of heat than iron (ii) water is a bad conductor of heat and (iii) a blackened surface is a better absorber of heat than a bright one.]

18. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ :—(ক) শীতের দিনে ঘুমাইবার সময় কাঠবিড়ালী উহার লোমশ লেজ দ্বারা দেহ আবৃত রাখে কেন? (খ) রন্ধনপাত্র সাধারণত ধাতুর তৈয়ারী হয় কেন? (গ) শীতের দিনে পাখীরা তাহাদের পালক ফুলাইয়া দেহ আবৃত রাখে কেন? (ঘ) মোটর রেডিয়েটরের গায়ে ধাতু নির্মিত পাখনা-বিশেষ যুক্ত থাকে কেন? (ঙ) খড়ের ছাদযুক্ত

তাপমাত্রা মাপিতে হয় উহার সহিত কুণ্ডটির সংস্পর্শ ঘটাইলে, পারদ আয়তনে বাড়িয়া যে-দাগ পর্যন্ত পৌছাইবে তাহাই হইবে বস্তুর তাপমাত্রা।

থার্মোমিটার নির্মাণ-প্রণালী ঃ

একটি সমান ব্যাসের সরু রন্ধ্রবিশিষ্ট শক্ত কাচনল লও। প্রথমে নলটির দুমুখ খোলা থাকিবে। পরে একমুখ আগুনে গলাইয়া অন্য মুখে ফুঁ দিয়া একটি চোঙাকৃতি কুণ্ড A তৈয়ারী কর (1থ নং চিত্র)। অন্যমুখে রবার নল দিয়া একটি ফানেল F আট্‌কাও। ইহার একটু নীচে কাচনলের দেওয়াল একটু গরম করিয়া চাপিয়া দাও যাহাতে ঐস্থানের রন্ধ্র একটু বেশী সরু হয় (চিত্রে C অংশ)। এখন ফানেলে কিছু বিশুদ্ধ পারদ লও। কাচনলের রন্ধ্র খুব সরু এবং বায়ুপূর্ণ বলিয়া পারদ রন্ধ্র বাহিয়া কুণ্ডে আসিতে পারিবে না। কুণ্ডটি পারদপূর্ণ করিতে নিম্নলিখিত পন্থা অবলম্বন করিতে হইবে।

থার্মোমিটার নির্মাণ কৌশল
চিত্র 1থ

A কুণ্ডকে গরম কর। ফলে রন্ধ্রের বায়ু আয়তনে বাড়িয়া পারদের ভিতর বুদ্‌বুদ সৃষ্টি করিয়া বাহির হইয়া যাইবে। কুণ্ডকে এখন ঠাণ্ডা করিলে খানিকটা পারদ কুণ্ডে আসিয়া জমা হইবে। পুনরায় A কুণ্ডকে গরম কর যাহাতে কুণ্ডের পারদ ফুটিতে থাকে। পারদের বাষ্প রন্ধ্রের সব বায়ু ও জলীয় বাষ্প ইত্যাদি ঠেলিয়া বাহির করিয়া দিবে। কুণ্ডকে এইবার ঠাণ্ডা করিলে আরও কিছু পারদ কুণ্ডে জমা হইবে। এইরূপ পর্যায়ক্রমে কুণ্ডকে গরম ও ঠাণ্ডা করিতে হইবে যতক্ষণ না কুণ্ড ও রন্ধ্রের খানিকটা অংশ পারদপূর্ণ হয়।

অতঃপর থার্মোমিটার সর্বাধিক যে-তাপমাত্রা নির্ণয় করিবে তাহা অপেক্ষা কিছু বেশী তাপমাত্রায় কুণ্ডটি রাখিতে হইবে। ফলে পারদ আয়তনে বাড়িয়া ফানেল পর্যন্ত পৌছাইবে। এই অবস্থায় ফানেল হইতে অতিরিক্ত পারদ সরাইয়া কুণ্ডটিকে আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা কর। পারদ আয়তনে কমিয়া যখন C অংশে পৌছাইবে তখন ঐ স্থান গরম করিয়া গলাইয়া বন্ধ কর।

এখন সমস্ত নলটিকে ঠাণ্ডা করিলে পারদ সঙ্কুচিত হইয়া কুণ্ড ও রন্ধ্রের কিছু অংশ অধিকার করিবে এবং রন্ধ্রের বাকী অংশ সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য হইবে। এইরূপে পারদ থার্মোমিটার তৈয়ারী হয়।

কোন থার্মোমিটার লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে রন্ধ্রের সর্বোচ্চ দাগের পর একটি ছোট কুণ্ড আছে (চিত্র 1ক)। ইহা থার্মোমিটারের পক্ষে একটি নিরাপত্তামূলক ব্যবস্থা। কারণ, কখনও কোন কারণে যদি থার্মোমিটার কুণ্ডকে অতিরিক্ত উত্তপ্ত করা হয়, যাহাতে পারদসূত্র থার্মোমিটারের সর্বোচ্চ দাগ ছাড়াইয়া যায় তাহা হইলে পারদ ঐ ছোট কুণ্ডে আসিয়া জমা হয়। কুণ্ডটি না থাকিলে পারদের চাপে থার্মোমিটার ভাঙ্গিয়া যাইবার সম্ভাবনা থাকে।

থার্মোমিটার নির্মাণের সময় লক্ষ্য রাখিতে হইবে যাহাতে থার্মোমিটারটি **সুবেদী** (sensitive) এবং **দ্রুত ক্রিয়াশীল** (quick acting) হয় অর্থাৎ সামান্য তাপমাত্রার পরিবর্তনে থার্মোমিটারের তরলসূত্রের যথেষ্ট প্রসারণ হয় এবং থার্মোমিটারটি খুব দ্রুত তাপমাত্রার পরিবর্তন দেখাইতে সক্ষম হয়।

থার্মোমিটার **কুণ্ডের আকার বৃদ্ধি করিলে** থার্মোমিটার সুবেদী হইবে, কারণ ঐ কুণ্ডে বেশী আয়তনের তরল থাকিবে এবং প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা পরিবর্তনে ঐ তরলের প্রসারণ বেশী হইবে। তাছাড়া **রন্ধ্র খুব সরু** হইলেও থার্মোমিটার সুবেদী হয়, কারণ নির্দিষ্ট আয়তন বৃদ্ধিতে রন্ধ্র যত সরু হইবে তরলসূত্র রন্ধ্র বাহিয়া তত বেশী অগ্রসর হইবে।

থার্মোমিটারকে দ্রুত ক্রিয়াশীল করিতে হইলে কুণ্ডটি পাতলা কাচের তৈয়ারী করিতে হইবে এবং সাইজে ছোট করিতে হইবে। তাছাড়া, থার্মোমিটারের তরল পদার্থকে তাপের সুপরিবাহী হইতে হইবে যাহাতে তরলের সর্বত্র তাপ দ্রুত ছড়াইয়া পড়িতে পারে।

থার্মোমিটারের স্থিরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of fixed points of a thermometer) :

তাপমাত্রা নির্ণয়ের স্কেল তৈয়ারী করিতে গেলে সর্বপ্রথম দুইটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পারদ কোথায় গিয়া দাঁড়ায় তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। এই দুই নির্দিষ্ট তাপমাত্রাকে বলা হয় থার্মোমিটারের স্থিরাঙ্ক। যে-তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ গলে অথবা জল জমিয়া বরফ হয় তাহাকে **নিম্ন স্থিরাঙ্ক** (lower fixed point) অথবা **হিমাঙ্ক** (freezing point or ice point) বলে এবং

বাসগৃহ গরমে ঠাণ্ডা এবং শীতে গরম থাকে কেন ? (চ) গরমকালে পুকুরের উপরকার জল গরম এবং নীচের জল ঠাণ্ডা থাকে আবার খুব ঠাণ্ডার দিনে, উপরকার জল ঠাণ্ডা এবং নীচের জল গরম থাকে কেন ?

[Answer the following questions :—(*a*) Why do squirrels wrap their bushy tails round their body during their winter sleep ? (*b*) Why are saucepans usually made of metal ? (*c*) Why do birds puff out their feathers on a cold day ? (*d*) Why are metallic fins attached to a motor radiator ? (*e*) A dwelling house with a straw roof keeps cool in summer and warm in winter. Why ? [*H. S. Exam. 1964*] (*f*) On a hot day the surface water of a pond is warmer than the water below, but on a day when it is nearly freezing, the surface water is colder. Why ?]

[OBJECTIVE TYPE QUESTIONS]

A. Alternate response type :

(i) *Yes or No type* :—

(ক) তরল হইতে বায়বীয় অথবা কঠিন হইতে তরলে অবস্থান্তরিত হইবার সময় তাপমাত্রার পরিবর্তন হইবে কি ? —

(খ) ঘরের বায়ু উষ্ণ হইয়া জানালা দিয়া বাহির হইয়া গেলে বায়ুর ভিতর পরিচলন স্রোতের উৎপত্তি হইয়াছে বলা যাইবে কি ? —

(গ) থার্মোমিটারের নল সাইজে সরু অপেক্ষা বেশী ব্যাসযুক্ত হইলে তাপমাত্রা মাপিবার সুবিধা হইবে কি ?

(ঘ) আপেক্ষিক তাপ সমান হইলে কোন বস্তুর তাপগ্রাহিতা ও ভরও সমান হয় কি ?

(ঙ) তাপকে কি একপ্রকার শক্তি বলিয়া গণ্য করা সঙ্গত ? —

(ii) *True or False type* .—

(ক) তরলের কোন ক্ষেত্র প্রসারণ নাই ; শুধু দৈর্ঘ্য ও আয়তন প্রসারণ আছে । —

(খ) দুইটি সমভর বিভিন্ন বস্তুর একই তাপমাত্রা হইলে বিভিন্ন তাপ থাকে বা একই তাপ দিলে বিভিন্ন তাপমাত্রা হয় ইহা বস্তু দুইটির বিভিন্ন আপেক্ষিক তাপ নির্দেশ করে । —

(গ) ঘরের তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কে পৌঁছাইলে ঘরের বায়ু উপস্থিত জলীয়-বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইয়া পড়ে । —

(ঘ) বায়ুতে অধিক মাত্রায় জলীয়-বাষ্প থাকিলে জলের বাষ্পায়নের সুবিধা হয় । —

(ঙ) বিকীর্ণ তাপের সহিত আলোকের পার্থক্য এই যে আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিকীর্ণ তাপের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা বৃহত্তর । —

B. Recall type :

(ক) তরলের স্ফুটনাঙ্ক তরলের উপরকার চাপবৃদ্ধির ফলে—পায়। —

(খ) বিভিন্ন পদার্থের দৈর্ঘ্যপ্রসারণ—। —

(গ) নিম্নস্থিরাঙ্ক ও ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্কদ্বয়ের মধ্যবর্তী তাপমাত্রার ব্যবধানকে—বলে। —

(ঘ) স্ফুটন পদ্ধতি খুব দ্রুত ; কিন্তু বাষ্পায়ন পদ্ধতি খুব—। —

(ঙ) কঠিন পদার্থ যে পদ্ধতিতে উত্তপ্ত হয় তাহাকে—বলা হয়। —

(C) Completion type :

(ক) কোন পদার্থের নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট—(a) বৃদ্ধির জন্য যে—(b) প্রয়োজন তাহ সম—(c) জলের সম—(d) বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয়—(e) অপেক্ষা যতগুণ সেই অনুপাতকে ঐ পদার্থের—(f) বলে।

—(a)—(b)—(c)—(d)—(e)—(f)

(খ) যে-প্রণালীতে কোন দ্রব্যের—(a) অংশ হইতে শীতলতর অংশে—(b) গমন করে অথচ ইহার জন্য দ্রব্যের—(c) গুলির কোন স্থান পরিবর্তন হয় না, তাহাকে—(d) বলা হয়।

—(a)—(b)—(c)—(d)

(D) Multiple choice type :

(ক) কোন কঠিন পদার্থে তাপ দ্রুত প্রবাহিত হইতে হইলে উহার কি গুণ থাকা প্রয়োজন ?

উঃ। ভাল পরিবাহিতা, পরিবাহিতাঙ্ক বেশী, বেশী আপেক্ষিক তাপ।

(খ) গলনের ফলে যে-সমস্ত পদার্থের আয়তন হ্রাস পায়, চাপ বৃদ্ধি করিলে উহার গলনাঙ্কের কিরূপ পরিবর্তন হয় ?

উঃ। বৃদ্ধি পায়, হ্রাস পায়, অপরিবর্তিত থাকে।

(গ) কঠিন অবস্থা হইতে সরাসরি বাষ্পে পরিণত হইবার পদ্ধতিকে কি বলে ?

উঃ। বাষ্পায়ন, ঊর্ধ্বপাতন, স্ফুটন।

(ঘ) 4°C তাপমাত্রায় জলের কোন্ জিনিসটি সর্বাপেক্ষা বেশী হয় ?

উঃ। আয়তন, ঘনত্ব, আপেক্ষিক গুরুত্ব।

আলোক-বিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ

আলোকের ঋজুগতি ও ছায়ার উৎপত্তি

[Rectilinear motion of light and formation of shadows]

1-1. আলোকের প্রকৃতি (Nature of light) :

পারিপার্শ্বিক জগতের সহিত আমাদের পরিচয় মূলত দৃষ্টি দ্বারা। চোখ মেলিলেই আমরা আমাদের চারিদিকে নানারকম জিনিস দেখিতে পাই। কিন্তু শুধু চোখ থাকিলেই কি দেখা যায়? একটি অন্ধকার ঘরে যদি চোখ মেলিয়া থাকা যায় তবে কি ঘরের কোন জিনিস দেখা যায়? আবার পূর্ণ আলোকিত ঘরে চোখ বন্ধ করিয়া রাখিলেও কোন জিনিস দেখা যায় না। সুতরাং চোখ দ্বারা কিছু দেখিতে হইলে একটি বাহ্যিক কারণ প্রয়োজন। অর্থাৎ, বস্তু হইতে আলো যখন চোখে আসিয়া পড়ে তখনই আমাদের উক্ত বস্তু সম্পর্কে দর্শন অনুভূতি হয়। অতএব আলো-কে আমরা এমন এক বাহ্যিক প্রেরণা (stimulus) বলিতে পারি যাহা চোখে কোন দ্রব্য সম্বন্ধে দর্শন অনুভূতি জাগায়।

তাপ, বিদ্যুৎ প্রভৃতির ন্যায় আলোকও একপ্রকার শক্তি। একটি ধাতব বলকে কয়লার আগুনে উত্তপ্ত করিলে বলটি তাপশক্তি নির্গত করে। এস্থলে কয়লার রাসায়নিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। বলটিকে ক্রমাগত উত্তপ্ত করিলে এক সময় উহা আলোক উৎপন্ন করিবে। তখন রাসায়নিক শক্তির খানিকটা অংশ আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তেমনি বৈদ্যুতিক বাতি জ্বলিলে বিদ্যুৎশক্তি অংশত আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এইসব উদাহরণ হইতে আমরা বলিতে পারি যে আলোকও একপ্রকার শক্তি।

. আলো বস্তুকে দৃশ্যমান করে; কিন্তু নিজে অদৃশ্য। আমরা আলো দেখিতে পাই না কিন্তু আলোকিত বস্তুকে দেখি। কথাটা হয়তো তোমাদের কাছে একটু জটিল বোধ হইতে পারে। তোমরা বলিবে যে, সকাল বেলায় রৌদ্রের

আলো যখন ঘরের বারান্দায় আসিয়া পড়ে তখন ত' আমরা আলোই দেখি। কিন্তু একটু ভাবিলেই বুঝিতে পারিবে যে, যাহা দেখ তাহা আলো নয়—আলো দ্বারা উজ্জ্বল বারান্দার কিছু অংশ। রাত্রিবেলা মোটরের হেড্-লাইট জ্বালিয়া দিলে বহুদূর পর্যন্ত আলোকিত হয়। প্রথমে মনে হইতে পারে যে, ঐ ত' আলো দেখা গেল। কিন্তু তাহা ঠিক নয়। অসংখ্য ধূলিকণার উপর আলো পড়িয়া সহসা উহারা আমাদের দৃষ্টিগোচর হইল বলিয়া আমরা ঐ আলোকিত ধূলিকণাগুলিই দেখি, আলো দেখি না।

কাজেই স্মরণ রাখিবে যে অন্যান্য শক্তির ন্যায় আলোকশক্তিও অদৃশ্য।

আলোক একস্থান হইতে অন্যস্থানে তরঙ্গের আকারে বিস্তৃত হয়। আলোকের তরঙ্গ তির্যক (transverse) এবং ইহার দৈর্ঘ্য খুব ক্ষুদ্র। আলোকের গতি সেকেণ্ডে প্রায় 1,86,000 মাইল।

1-2 আলোক বিজ্ঞান সম্বন্ধে কয়েকটি সংজ্ঞা :

(1) **আলোক-প্রভব** (Source of light)

যে-বস্তু আলোক প্রদান করিতে পারে তাহাকে আলোক-প্রভব বলে। ইহাদের ভিতর এরূপ বস্তু আছে যাহারা নিজ হইতে আলোক বিকীর্ণ করিতে পারে। যেমন—সূর্য, নক্ষত্র, জ্বলন্ত বাতি, ইত্যাদি। ইহাদের বলা হয় **স্বপ্রভ** (luminous) বস্তু।

আবার, অন্য এক প্রকারের বস্তু আছে যাহারা স্বপ্রভ বস্তু হইতে আলোক গ্রহণ করিয়া পরে সেই আলোক বিকিরণ করে। ইহাদের বলা হয় অপ্রভ (non-luminous) বস্তু। চাঁদ অপ্রভ বস্তু। চাঁদের নিজের কোন আলো নাই। সূর্য হইতে আলো পাইয়া চাঁদ আলো বিকিরণ করে। বেশীর ভাগ বস্তুই অপ্রভ। চেয়ার, টেবিল প্রভৃতি পারিপার্শ্বিক দৃশ্যমান বস্তু স্বপ্রভ বস্তু হইতে আলো গ্রহণ করিয়া দৃষ্টির গোচরে আসে।

আলোক-বিজ্ঞান আলোচনা করিতে গিয়া আমরা বিন্দু প্রভব (point source) ও বিস্তৃত প্রভবের (extended source) কথা বলিব। বিন্দু-প্রভব বলিতে জ্যামিতিক বিন্দু বুঝাইবে এবং বিস্তৃত প্রভব বলিতে এমন বস্তু বুঝাইবে যাহার কিছু আকার (size) আছে, একথা মনে রাখিতে হইবে, আকারবিশিষ্ট বিস্তৃত প্রভবকে অসংখ্য বিন্দু প্রভবের সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে।

(2) আলোক-মাধ্যম (Optical medium):

যে-মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলো চলাচল করিতে পারে তাহাকে আলোক-মাধ্যম বলা হয়।

এই মাধ্যম যদি এমন হয় যে আলো চতুর্দিকে সমান গতিতে যায় তবে ঐ মাধ্যমকে **সমসত্ত্ব** (homogeneous) মাধ্যম বলা হয়। যেমন—বায়ু, জল, কাচ ইত্যাদি সমসত্ত্ব মাধ্যম।

যে-সমসত্ত্ব মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলো অতি সহজে যাতায়াত করিতে পারে তাহাকে **স্বচ্ছ** (transparent) মাধ্যম বলে। যেমন, কাচ, জল ইত্যাদি।

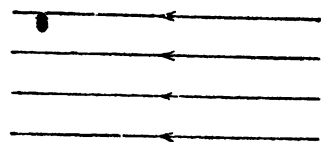
যে-মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলো মোটেই যাইতে পারে না, তাহাকে **অস্বচ্ছ** (opaque) মাধ্যম বলে। যেমন—পাথর, লোহা ইত্যাদি।

আবার যে-মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলো আংশিকভাবে যাইতে পারে তাহাকে **ঈষৎ স্বচ্ছ** (translucent) মাধ্যম বলা হয়। ঘষা কাচ, তেলা কাগজ ইত্যাদি ঈষৎ স্বচ্ছ মাধ্যমের উদাহরণ।

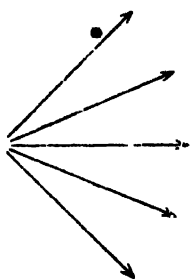
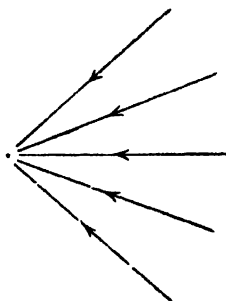
(3) **আলোক-রশ্মি ও রশ্মিগুচ্ছ** (Ray ot light and a beam of light):

কোন সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলো সরলরেখায় চলাচল করে। সুতরাং একটি সরলরেখা আলোকরশ্মির পথকে বুঝাইয়া দিবে। ঐরূপ কতগুলি আলোকরশ্মি মিলিয়া এক রশ্মিগুচ্ছ সৃষ্টি করে। একথা মনে রাখা প্রয়োজন যে একটি রশ্মি সৃষ্টি করা সম্ভব নয়। প্রভব যতই ক্ষুদ্র হউক না কেন, তাহা হইতে সর্বদা রশ্মিগুচ্ছ বিকীর্ণ হইবে।

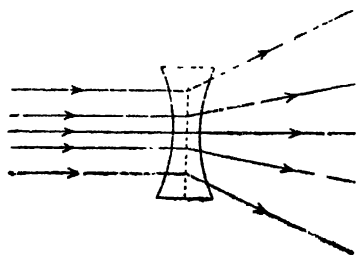
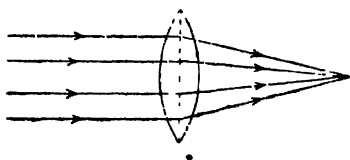
রশ্মিগুচ্ছ তিন প্রকার হইতে পারে। যথা: (1) **সমান্তরাল** (parallel), (2) **অপসারী** (divergent) ও (3) **অভিসারী** (convergent)।

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল (1 ক নং চিত্র)। বহুদূরে অবস্থিত কোন প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছকে আমরা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বলিতে পারি। যেমন, সূর্য হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ সমান্তরাল।

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ
চিত্র 1 ক

তাছাড়া, লেন্স বা গোলীয় দর্পণ (spherical mirror) দ্বারাও কৃত্রিম উপায়ে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ তৈয়ারী করা যায়।

যখন কোন প্রভব হইতে রশ্মিগুচ্ছ শঙ্কুর (conical) আকারে এমনভাবে ছড়াইয়া পড়ে যে প্রভব উক্ত শঙ্কুর শীর্ষবিন্দু, তখন ঐ রশ্মিগুচ্ছকে **অপসারী রশ্মিগুচ্ছ** বলে (1 খ নং চিত্র)।

অপসারী রশ্মিগুচ্ছ
চিত্র 1খ

অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ
চিত্র 1গ

আবার, যখন কোন প্রভব হইতে রশ্মিগুচ্ছ এমনভাবে আসে যে তাহারা এক বিন্দুতে মিলিত হয়, তখন তাহাকে **অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ** বলে (1গ নং চিত্র)।

একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে অবতল (concave) লেন্সের ভিতর দিয়া পাঠাইলে, উহা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় (1ঘ নং চিত্র) এবং উত্তল

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইল
চিত্র 1ঘ

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইল
চিত্র 1ঙ

(convex) লেন্সের ভিতর দিয়া পাঠাইলে উহা অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় (1ঙ নং চিত্র)।

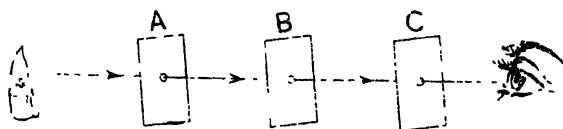
1-3. আলোকের ঋজুগতির পরীক্ষা (Demonstration of rectilinear motion of light):

আমাদের নানারকম সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে জানিতে পারি যে আলোকের গতি সরলরেখা অবলম্বন করিয়া হয়। অন্ধকার রাস্তায় মোটর গাড়ীর হেড্ লাইট হইতে আলো ফেলিলে দেখা যায় যে উহা সরলরেখায় যায়। একটি অন্ধকার ঘরের জানালায় একটি ছোট ছিদ্র করিলে রৌদ্র যখন ঐ ছিদ্র দিয়া ঘরে প্রবেশ করে তখন ঘরের বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণাগুলি রৌদ্র দ্বারা আলোকিত হয় এবং তখন স্পষ্ট বোঝা যায় আলো সরলরেখায় চলে। ভাঙ্গা ভাঙ্গা মেঘের ফাঁক দিয়া যখন সূর্যকিরণ বাহির হয় তখন ঐ আলো সরল রেখা বরাবর চলে।

পরীক্ষাগারে নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষাদ্বারা আলোকের ঋজুগতির সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

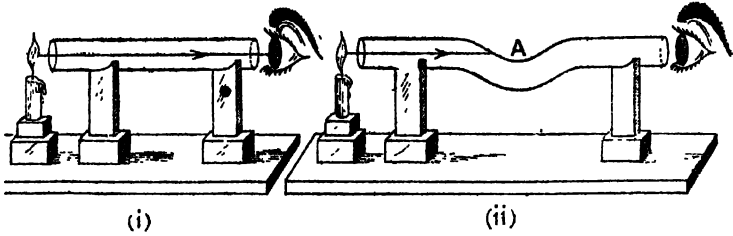
পরীক্ষা:

(1) A, B, C তিনটি শক্ত কাগজের বোর্ড। উহাদের প্রত্যেকের গায়ে একটি করিয়া ছোট ছিদ্র আছে। এই তিনটি বোর্ড এমনভাবে সাজাও যে ছিদ্র তিনটি এবং একটি মোমবাতির শিখা একই সরল রেখায় থাকে (1b নং চিত্র)। এখন C বোর্ডের অপর পার্শ্বে চোখ রাখিয়া ছিদ্র তিনটির ভিতর দিয়া

চিত্র 1b

আলোকের ঋজুগতির পরীক্ষা

শিখা লক্ষ্য কর। দেখিবে যে শিখা দেখিতে গেলে চোখকে ছিদ্র তিনটির সহিত একই সরলরেখায় রাখিতে হইতেছে।

এখন যে-কোন একটি বোর্ডকে উপর-নীচ অথবা পাশে একটু সরাইলে আর শিখা দেখা যাইবে না। ইহার কারণ এই যে, আলো স্থানচ্যুত বোর্ড কর্তৃক বাধা পাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে আলো সরলরেখায় চলাচল করে। যদি আলো বক্ররেখায় যাইতে পারিত তবে অনায়াসে স্থানচ্যুত বোর্ডের ছিদ্র দিয়া আসিয়া চোখে পৌছাইত।

(2) একটি দুই ইঞ্চি মুখের ফুট তিনেক লম্বা ফাঁপা নল সংগ্রহ কর এবং অবলম্বনের সাহায্যে টেবিলের উপর অনুভূমিক অবস্থায় বসাও। নলের এক

আলোকের ঋজুগতির পরীক্ষা
চিত্র 1ছ

মুখের সামনে একটি মোমবাতি রাখ এবং অপর মুখে চোখ রাখিয়া মোমবাতির শিখা দেখিতে চেষ্টা কর [চিত্র নং 1ছ (i)]। দেখিবে শিখা দেখিতে কোন অসুবিধা হইতেছে না, কারণ শিখা হইতে আলোকরশ্মি সরল রেখায় নল বরাবর গিয়া চোখে পৌঁছাইতেছে।

এবার পূর্বের মত আর একটি নল সংগ্রহ কর, কিন্তু এই নলটির মধ্যস্থল খানিকটা বাঁকানো থাকিবে [চিত্র নং 1ছ (ii]। এইবার পূর্বের মত ব্যবস্থা করিয়া শিখা দেখিতে চেষ্টা কর। শিখা দেখা যাইবে না। এস্থলে আলোক-রশ্মি শিখা হইতে সরলরেখায় গিয়া নলের বক্রস্থান A বিন্দুতে আটকাইয়া যাইবে এবং আর অগ্রসর হইতে পারিবে না। আলোকরশ্মি বক্রপথে যাইতে সক্ষম হইলে অনায়াসে নলের বক্রস্থান ঘুরিয়া চোখে পৌঁছাইতে পারিত। সুতরাং এই পরীক্ষাগুলি হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে আলো সরলরেখায় চলে।

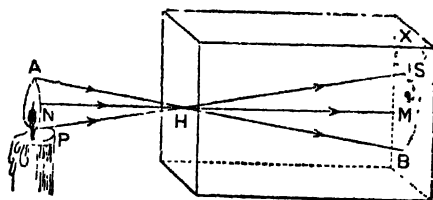
1-4. সূচীছিদ্র ক্যামেরা (Pin-hole camera):

এই ক্যামেরার কার্য-পদ্ধতি দ্বারা প্রমাণ হয় যে আলো সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলাচল করে।

1জ নং চিত্রে একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার ছবি দেখানো হইল। এই ক্যামেরা একটি আয়তাকার (rectangular) বাক্সের তৈয়ারী। বাক্সের সম্মুখতল কার্ডবোর্ডের তৈয়ারী এবং ইহাতে একটি সূচী-ছিদ্র H আছে এবং বিপরীত তল X একটি ঘষা কাচের প্লেটে তৈয়ারী। বাক্সের অভ্যন্তর কালো রং করা থাকে। ইহাতে আলোর প্রতিফলন বন্ধ হয়। সূচী-ছিদ্রের সম্মুখে কোন জিনিস রাখিলে ঘষা-কাচের উপর উহার উল্টা ছবি পড়িবে।

ধরা যাউক, ছিদ্রের সম্মুখে একটি মোমবাতি দাঁড় করানো আছে (1জ নং চিত্র)। মোমবাতির শিখার যে-কোন জায়গা হইতে—ধর, A বিন্দু হইতে আলোকরশ্মি চতুর্দিকে গমন করিবে ; কিন্তু যে-রশ্মি সোজাসুজি ছিদ্রের ভিতর দিয়া যাইতে পারিবে, যেমন AH রশ্মি—তাহাই B বিন্দুতে A বিন্দুর প্রতিকৃতি তৈয়ারী করিবে। তেমনি N এবং P বিন্দু হইতে রশ্মি নির্গত হইয়া

সূচী-ছিদ্র ক্যামেরা

চিত্র 1জ

সোজাসুজি ছিদ্র দিয়া যথাক্রমে M এবং S বিন্দুতে প্রতিকৃতি তৈয়ারী করিবে। এইরূপে সমগ্র শিখার উল্টা প্রতিকৃতি ঘষা কাচের উপর পড়িবে। যদি ঘষা কাচের পরিবর্তে ফটোগ্রাফী-প্লেট রাখা যায় তবে প্লেটে শিখার ছবি উঠিবে। সুতরাং ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে আলো সরল-রেখায় চলে।

[**দ্রষ্টব্য ঃ** সূচী-ছিদ্র ক্যামেরাতে বস্তুর যে ছবি দেখা যায় উহাকে প্রতিবিম্ব (image) বলা চলে না। প্রতিবিম্ব কিরূপে সৃষ্টি হয় তাহা পরে আলোচনা করা হইয়াছে।]

(ক) সূচী-ছিদ্র ক্যামেরা সম্বন্ধে কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয় ঃ

(1) যদি ক্যামেরার ছিদ্র বড় করা যায় তবে প্রতিকৃতি অস্পষ্ট হইবে। কারণ বড় ছিদ্র অনেকগুলি ছোট ছোট ছিদ্রের সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে। প্রত্যেক ছিদ্রই এক একটি প্রতিকৃতি সৃষ্টি করিবে এবং এই প্রতিকৃতিগুলি একে অপরের উপর পড়িয়া আসল প্রতিকৃতি অস্পষ্ট করিয়া দিবে। যদি ছিদ্র খুব ছোট হয় তবে প্রতিকৃতির সীমারেখা (outline) খুব স্পষ্ট হইবে।

(2) ছিদ্রের আকৃতির (shape) উপর প্রতিকৃতি নির্ভর করিবে না যতক্ষণ পর্যন্ত ছিদ্রটি খুব ছোট থাকে।

(3) যে-বস্তুর প্রতিকৃতি তৈয়ারী হইবে তাহা যদি ছিদ্র হইতে দূরে সরাইয়া লওয়া হয় তবে প্রতিকৃতির সাইজ ছোট হইয়া যাইবে।

(4) যদি বস্তুর দূরত্ব ঠিক রাখিয়া ঘষা-কাচ অর্থাৎ পর্দা ছিদ্র হইতে দূরে সরানো যায় তবে প্রতিকৃতির সাইজ বৃদ্ধি পাইবে।

বস্তু এবং প্রতিকৃতির সাইজের সহিত সূচী-ছিদ্র হইতে উহাদের দূরত্বের নিম্নলিখিত সম্পর্ক আছে :

$$\frac{\text{বস্তুর সাইজ}}{\text{প্রতিকৃতির সাইজ}} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{ছিদ্র হইতে প্রতিকৃতির দূরত্ব}}$$

উদাহরণ :

(1) একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরাতে ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব 6 inches, কোন মানুষের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্য-সম্পন্ন প্রতিকৃতি পর্দায় গঠন করিতে হইলে মানুষটি ক্যামেরা হইতে কতদূরে দাঁড়াইবে?

[In a pin-hole camera, the screen is at a distance of 6 inches from the hole. How far must a man stand from the camera so that an image half the size of the man may be formed on the screen?]

উ। আমরা জানি,

$$\frac{\text{বস্তুর সাইজ}}{\text{প্রতিকৃতির সাইজ}} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব}}$$

এক্ষেত্রে, প্রতিকৃতির সাইজ বস্তুর সাইজের অর্ধেক হইবে এবং ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব = 6 inches.

$$\text{অতএব,}\quad 2 = \frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{6}$$

$\therefore$ ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব $= 6 \times 2$ inches

$= 1$ ft.

অর্থাৎ, লোকটি ক্যামেরা হইতে 1 ft. দূরে দাঁড়াইবে।

(2) একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরাতে কোন একটি বাড়ীর 1·5 inches উঁচু প্রতিকৃতি সৃষ্টি হইল। সূচী-ছিদ্র হইতে পর্দা এবং বাড়ীর দূরত্ব যথাক্রমে 2·6 inches এবং 91 ft. হইলে বাড়ীটির উচ্চতা কত?

[The image of a building as seen in a pin-hole camera is 1·5 inches. If the distance of the screen and the building from the pin-hole be 2·6 inches and 91 ft. respectively, find the height of the building.]

উ। আমরা জানি,

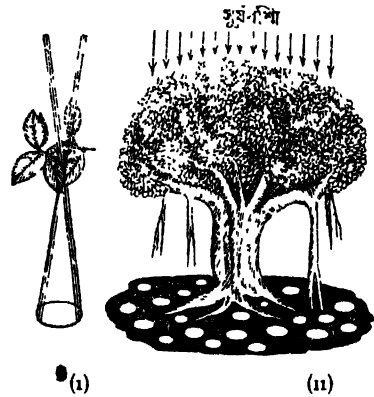
$$\frac{\text{বস্তুর সাইজ বা উচ্চতা}}{\text{প্রতিকৃতির সাইজ বা উচ্চতা}} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব}}$$

এক্ষেত্রে, $$\frac{\text{বস্তুর উচ্চতা}}{\frac{1\cdot5}{12}} = \frac{91}{\frac{2\cdot6}{12}}$$

$$\therefore \quad \text{বস্তুর উচ্চতা} = \frac{91 \times 1\cdot5}{2\cdot6} \text{ ft} = 52\cdot5 \text{ ft.}$$

(খ) গাছের নীচে গোল ও ডিম্বাকৃতি আলোকচক্রের (patches of light) উৎপত্তি :

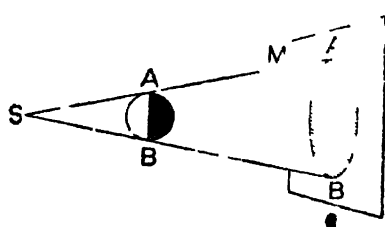
সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার কার্যপ্রণালী হইতে আমরা বুঝিতে পারিলাম যে বস্তু হইতে আলোকরশ্মি কোন ছিদ্রের ভিতর দিয়া গিয়া কোন অস্বচ্ছ পর্দার উপর পড়িলে পর্দার উপর বস্তুর একটি প্রতিকৃতি দেখা যায়। এই ঘটনার অনুরূপ ঘটনা ঘটে পত্রবহুল কোন গাছের ছায়ার ভিতরে। ছায়া লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে উহার ভিতরে স্থানে স্থানে গোল ও ডিম্বাকৃতি আলোকচক্র (circular and elliptical patches of light) গঠিত হইয়াছে [চিত্র নং 1ঝ (ii)]। গোল আলোকচক্রগুলি সূর্যের প্রতিকৃতি এবং উহারা সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার নীতি অনুযায়ী গঠিত হয়। গাছের পাতাগুলি অস্বচ্ছ। কিন্তু কতগুলি পাতার মাঝে ছোট ছোট ফাঁক থাকিয়া যায়। গাছের উপর সূর্যরশ্মি পড়িলে; রশ্মি ঐ ছোট ফাঁক দিয়া মাটিতে পৌছায় এবং সূর্যের প্রতিকৃতি তৈয়ারা করে [চিত্র নং 1ঝ (i)]। তাই, ঐ স্থানে গোলাকার আলোকচক্র দেখিতে পাওয়া যায়। ছিদ্রগুলি ছোট হইলে উহার আকারের উপর প্রতিকৃতির আকার নির্ভর করে না। সূর্যের খণ্ডগ্রহণের সময় যখন সূর্যের আকার কাস্তের মত বাঁকা হয় তখন এই আলোকচক্রগুলি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে উহারাও বাঁকা হইয়াছে।

পত্রবহুল গাছের ছায়ার আলোকচক্র
চিত্র 1ঝ

যদি পাতার ফাঁকের ছিদ্রগুলি আকারে বড় হয় তখন আর ঠিক ঠিক প্রতিকৃতি সৃষ্টি হয় না। কারণ বড় ছিদ্র অসংখ্য ছোট ছিদ্রের সমষ্টি হওয়ায় অনেকগুলি প্রতিকৃতি সৃষ্টি হইবে এবং উহারা এক সঙ্গে মিলিয়া কিছু আলোকিত অংশের সৃষ্টি করিবে। এই অংশগুলির আকার ছিদ্রের আকারের অনুরূপ হইবে। ছিদ্রগুলি ডিম্বাকৃতি হইলে এই আলোকিত অংশগুলিও ডিম্বাকৃতি হইবে। তাছাড়া, সূর্যরশ্মি লম্বভাবে না পড়িয়া আনতভাবে পাতার ছোট ফাঁক দিয়া মাটিতে পড়িলেও ডিম্বাকৃতি আলোকিত অংশ দেখা যাইবে।

1-5 ছায়ার উৎপত্তি (Formation of shadows):

অস্বচ্ছ বস্তুর ছায়া হয় তাহা তোমরা জান। আলোর সম্মুখে কোন অস্বচ্ছ বস্তু ধরিলে দেওয়ালে তাহার ছায়া পড়ে তাহা সকলেই দেখিয়াছ। **আলো যে সরলরেখায় চলে ছায়া তাহার প্রকৃষ্ট প্রমাণ।** যদি আলো আঁকা বাঁকা পথে চলিত তবে কখনও ছায়ার সৃষ্টি হইত না। আলোক-প্রভবের উৎস ও অস্বচ্ছ বস্তুর আপেক্ষিক আকারের উপর নির্ভর করিয়া ছায়ার আকৃতি ও প্রকৃতি ভিন্ন ভিন্ন হইতে পারে। নিম্নে সেই বিষয় আলোচনা করা হইল।

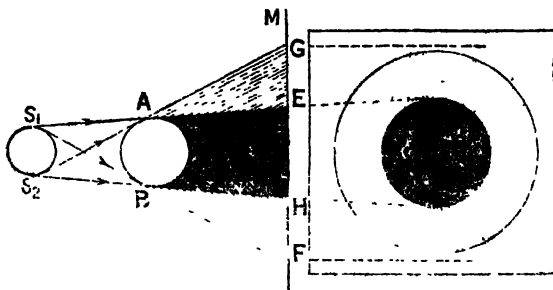
(i) বিন্দু আলোক প্রভব ও বিস্তৃত অস্বচ্ছ বস্তু (Point source and extended object):

S একটি বিন্দু আলোক প্রভব, AB একটি গোলাকার অস্বচ্ছ বস্তু এবং M একটি পর্দা (1৭ নং চিত্র)। বিন্দু প্রভব হইতে আলোক রশ্মি চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়িবে। যে-রশ্মিগুলি AB বস্তুর ধার ঘেঁষিয়া যাইবে—যেমন SA, SB প্রভৃতি—উহারা পর্দায় গিয়া পড়িবে। কিন্তু SAB শঙ্কুর

ছায়ার উৎপত্তি
চিত্র 1৭

(cone) অভ্যন্তরস্থ কোন রশ্মি পর্দায় পৌঁছাইতে পারিবে না—কারণ উহারা AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে। অন্যান্য রশ্মি পর্দায় পৌঁছিয়া পর্দাকে আলোকিত করিবে, সুতরাং পর্দার A'B' অংশ সম্পূর্ণ অন্ধকার থাকিবে এবং ইহার আকার গোল হইবে। ইহাই হইল AB বস্তুর ছায়া। পর্দা দূরে সরাইয়া লইলে ছায়ার আকার বৃদ্ধি পাইবে কিন্তু গাঢ়তা হ্রাস পাইবে।

(2) বিস্তৃত আলোক প্রভব ও আলোক প্রভব হইতে বড় অস্বচ্ছ বস্তু (Extended source and object greater than the size of the source) :

S_1 S_2 একটি বিস্তৃত আলোক প্রভব। AB একটি অস্বচ্ছ বস্তু এবং M একটি পর্দা। AB বস্তুর আকার আলোক প্রভব হইতে বড় (1ট নং চিত্র)।

বিস্তৃত আলোক প্রভব S_1 S_2-কে আমরা বহু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দু আলোক প্রভবের সমষ্টি বলিয়া ধরিতে পারি। মনে কর S_1 এবং S_2 ঐরূপ দুইটি প্রান্ত (extreme) বিন্দু প্রভব।

প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়া

চিত্র 1ট

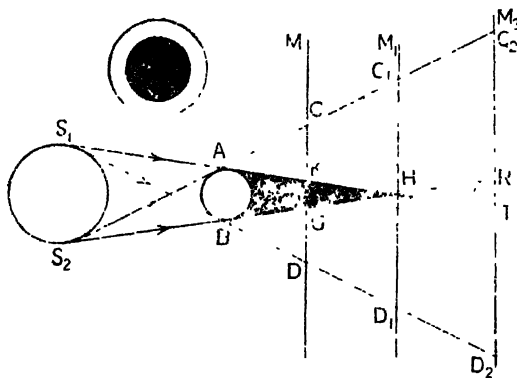
এখন S_1 বিন্দু হইতে নির্গত এবং S_1A ও S_1B রেখাদ্বারা সীমাবদ্ধ আলোকরশ্মিগুলি যে-আলোকশঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহা AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে এবং পর্দায় পৌঁছাইতে পারিবে না। সুতরাং উহারা E হইতে F পর্যন্ত ছায়া সৃষ্টি করিবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু S_2 হইতে নির্গত ও S_2A এবং S_2B রেখাদ্বারা সীমাবদ্ধ আলোকরশ্মিগুলি যে-শঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহাও পর্দায় পৌঁছিবে না। ফলে G হইতে H পর্যন্ত ছায়ার সৃষ্টি হইবে। আলোক-প্রভবের অন্যান্য মধ্যবর্তী বিন্দুদ্বারা AB-র যে ছায়া সৃষ্টি হইবে তাহা G এবং F-এর মধ্যে অবস্থিত হইবে। সুতরাং পর্দায় AB বস্তুর যে সাধারণ ছায়া হইবে তাহা G হইতে F পর্যন্ত বিস্তৃত হইবে। কিন্তু এই সাধারণ ছায়ার সর্বত্র অন্ধকারের গাঢ়তা এক নয়। লক্ষ্য করিলে বোঝা যাইবে যে EH অংশে S_1 বা S_2 অথবা ইহাদের মধ্যবর্তী কোন বিন্দু হইতে আলো পৌঁছায় না। সুতরাং এই অংশের অন্ধকার সর্বাপেক্ষা গাঢ় হইবে। এই অংশকে **প্রচ্ছায়া** (umbra) বলে। কিন্তু EG বা HF অংশ তত অন্ধকার নয়—কারণ EG অংশে প্রভবের

তলার দিক হইতে কোন আলো পৌছায় না ; কিন্তু প্রভবের উপরের দিক হইতে আলো পৌছাইবে। তেমনি HF অংশে প্রভবের উপর হইতে কোন আলো পৌছায় না কিন্তু তলার দিক হইতে আলো পৌছায়। সুতরাং EG এবং HF অংশ আংশিক অন্ধকারে থাকিবে। এই আংশিক অন্ধকারযুক্ত অংশগুলিকে **উপচ্ছায়া** (penumbra) বলে। 1ট নং চিত্রের ডানদিকে ছায়ার সম্পূর্ণ প্রকৃতি দেখানো হইল। উহার মধ্যস্থলে গাঢ় অন্ধকারাচ্ছন্ন গোলাকার প্রচ্ছায়া এবং উহার চতুর্দিক বেষ্টন করিয়া গোলাকার আংশিক অন্ধকারাচ্ছন্ন উপচ্ছায়া।

প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া লক্ষ্য করিলে বোঝা যায় যে পর্দা দূরে সরাইলে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া উভয়েই আকারে বৃদ্ধি পাইবে।

(3) **বিস্তৃত আলোক প্রভব ও ক্ষুদ্রতর অস্বচ্ছ বস্তু** (Extended source and smaller object) :

$S_1 S_2$ একটি বিস্তৃত আলোক প্রভব এবং AB একটি অস্বচ্ছ বস্তু। আলোক প্রভবের সাইজ AB বস্তুর চাইতে বড়। M একটি পর্দা (1ঠ নং চিত্র)

চিত্র 1ঠ

পূর্বের ন্যায় বিস্তৃত প্রভবকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দু প্রভবের সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে। মনে কর S_1 এবং S_2 ঐরূপ দুইটি প্রান্ত বিন্দু-প্রভব।

এখন S_1 বিন্দু প্রভব হইতে নির্গত এবং S_1A ও S_1B সরলরেখা কর্তৃক সীমাবদ্ধ আলোকরশ্মিগুলি যে-আলোকশঙ্কুর সৃষ্টি করিবে তাহা AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে এবং পর্দায় পৌছাইবে না। ফলে পর্দায় K হইতে D পর্যন্ত ছায়া সৃষ্টি হইবে।

তেমনি S_2A ও S_2B রেখা কর্তৃক সীমাবদ্ধ আলোকরশ্মিগুলি যে-আলোকশঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহাও AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে। সুতরাং তাহারাও পর্দায় পৌছাইবে না এবং G হইতে C পর্যন্ত ছায়ার সৃষ্টি করিবে।

S_1 এবং S_2 বিন্দুর মধ্যবর্তী অন্যান্য আলোক বিন্দু যে-ছায়াগুলির সৃষ্টি করিবে তাহা C এবং D-র ভিতর অবস্থান করিবে। অর্থাৎ C হইতে D পর্যন্ত AB বস্তুর সাধারণভাবে ছায়া সৃষ্টি হইবে।

এখানেও লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে KG অংশে আলোক প্রভবের কোন বিন্দু হইতেই আলো পৌছায় না। সুতরাং KG অংশকে প্রচ্ছায়া বলা যাইতে পারে। আর KC অথবা GD অংশে আংশিকভাবে আলো পৌছায়। সুতরাং উহারা উপচ্ছায়া।

আরও লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে প্রচ্ছায়া অংশ একটি অভিসারী (converging) এবং উপচ্ছায়া অংশ একটি অপসারী (diverging) শঙ্কু তৈয়ারী করে—অর্থাৎ পর্দা দূরে সরাইয়া লইলে প্রচ্ছায়া অংশ ক্রমশ কমিয়া আসিবে কিন্তু উপচ্ছায়া অংশ ক্রমশ বৃদ্ধি পাইবে।

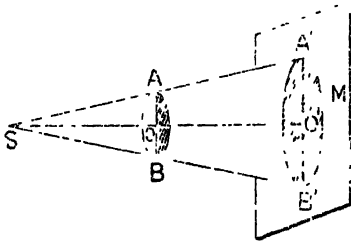
যদি পর্দাকে M_1 অবস্থানে লইয়া যাওয়া হয় তবে প্রচ্ছায়া একটি বিন্দুতে (H) পরিণত হয়। যদি আরও সরাইয়া M_2 অবস্থানে লইয়া যাওয়া হয় তবে আর প্রচ্ছায়া থাকিবে না। ইহার পরিবর্তে একটি বিপরীত অপসারী (diverging) শঙ্কু HRT সৃষ্টি হইবে। এইরূপ অবস্থায় RT অংশে প্রভবের পরিধির (peripheral) নিকটস্থ অংশ হইতে কিছু কিছু আলো আসিয়া উপচ্ছায়ার সৃষ্টি করিবে। সুতরাং R এবং T-এর মধ্যবর্তী যে-কোন অংশ হইতে প্রভবের দিকে তাকাইলে AB বস্তুকে সম্পূর্ণ অন্ধকারাচ্ছন্ন দেখাইবে কিন্তু তাহার চতুর্দিকে আলোকিত অংশ দেখা যাইবে (1ঠ নং চিত্রের উপরে যেমন দেখানো হইয়াছে)। পর্দা আরো দূরে সরাইয়া লইলে উপচ্ছায়ার অন্ধকারের গাঢ়তা হ্রাস পাইতে থাকিবে। অবশেষে পর্দায় আলো ও ছায়ার পার্থক্য আর বোঝা যাইবে না।

এই প্রসঙ্গে বলা যাইতে পারে যে গাছের পাতার ছায়া যখন মাটিতে পড়ে তখন প্রচ্ছায়া ও পাতলা উপচ্ছায়া লক্ষিত হয়। এখানে সূর্য আলোক-প্রভব, পাতা অস্বচ্ছ বস্তু ও মাটি পর্দা। পাতা ও মাটির দূরত্ব কম বলিয়া এবং সূর্য বহু দূরে থাকায় প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া দুই-ই দেখা যায়। তেমনি যখন এরোপ্লেন

যা পাখী নীচু দিয়া উড়িয়া যায় তখন মাটিতে উহার ছায়া পড়ে কিন্তু ক্রমশ উচ্চে উঠিলে (অর্থাৎ পর্দা হইতে বস্তুর দূরত্ব বাড়িতে থাকিলে) ছায়া পাতলা হইয়া অবশেষে অদৃশ্য হইয়া যায়।

উদাহরণ:

(1) একটি বিন্দুপ্রভব হইতে 1 ft. দূরে 4 inches ব্যাসযুক্ত একটি গোলাকার অস্বচ্ছ বস্তু রাখা আছে এবং বস্তুটির কেন্দ্র হইতে 1 ft. দূরে একখানি পর্দা আছে। পর্দার উপরে যে ছায়া সৃষ্টি হইবে তাহার ব্যাস কত?

[An opaque circular object of 4 inches diameter is placed 1 ft. away from a point source and a screen is placed 1 ft. away from the centre of the object. What is the diameter of the shadow formed on the screen?]

উ। মনে কর, S বিন্দু প্রভব, AB বস্তু এবং M পর্দার উপর A'B' বস্তুর ছায়া (চিত্র নং 1ভ)। এখন SO=1 ft. এবং OO'=1 ft.

$\therefore$ SO' = 2 ft., AB = 4 inches

আমরা লিখিতে পারি যে,

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{SO}{SO'}$$

অথবা, $$\frac{4}{A'B'} = \frac{1\times 12}{2\times 12}$$

$\therefore$ A'B' = 8 inches.

অর্থাৎ, ছায়ার ব্যাস = 8 inches.

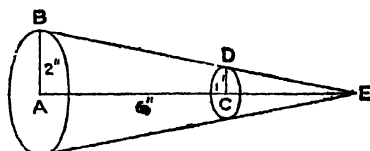
(2) একটি অন্ধকার ঘরে 4 inches ব্যাসের একটি কাচের কুণ্ডের ভিতর একটি বৈদ্যুতিক বাতি রাখা আছে। উহা হইতে 6 inches দূরে একটি ধাতব বল আছে। বলটির ব্যাস 2 inches; বলটির প্রচ্ছায়ার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[In a dark room there is a hollow glass bulb of 4 inches diameter containing an electric light. A metallic ball of 2 inches diameter is placed such that its centre is at a distance

of 6 inches from the centre of the bulb. Find the length of the umbral cone of the shadow of the ball.]

উ। চিত্র নং 1ঢ দেখ। B হইল কাচের কুণ্ড, D ধাতব বল এবং CE প্রচ্ছায়ার দৈর্ঘ্য। প্রশ্ন হইতে আমরা লিখিতে পারি,

AB = 2″, CD = 1″,
AC = 6′ এবং CE = x (ধর)

চিত্র 1ঢ

এখন, ABE এবং CDE ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ বলিয়া,

$$\frac{AB}{AE} = \frac{CD}{x} \text{ or, } \frac{2}{6+x} = \frac{1}{x} \text{ or } 2x = 6 + x;\ \therefore\ x = 6'' \text{ in.}$$

অর্থাৎ প্রচ্ছায়ার দৈর্ঘ্য হইবে 6 inches.

1-6 গ্রহণ (Eclipses):

অস্বচ্ছ বস্তু কর্তৃক ছায়া সৃষ্টির ফলে সূর্য বা চন্দ্রগ্রহণ হয়। অমাবস্যায় যখন চাঁদ পৃথিবী ও সূর্যের মধ্যে আসে তখন চাঁদের ছায়া পৃথিবীতে পড়িয়া সূর্যগ্রহণের সৃষ্টি করে। আবার পূর্ণিমায় যখন চাঁদ ও সূর্যের মাঝখানে পৃথিবী আসে তখন পৃথিবীর ছায়ার ভিতর চাঁদ প্রবেশ করিলে চন্দ্রগ্রহণ হয়। কাজেই সূর্যগ্রহণের বেলাতে চাঁদ অস্বচ্ছ বস্তুর কাজ করে এবং চন্দ্রগ্রহণের বেলাতে পৃথিবী অস্বচ্ছ বস্তুর কাজ করে। দুই গ্রহণ কি করিয়া সংঘটিত হয় নিম্নে তাহার আলোচনা করা হইল।

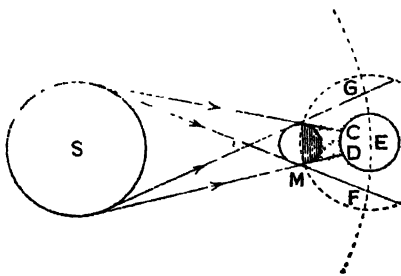
[**দ্রষ্টব্য**: পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব [illegible] miles, চন্দ্রের দূরত্ব 21×10^4 miles এবং সূর্যের ব্যাস পৃথিবীর ব্যাসের 1[illegible] গুণ। পৃথিবীর ছায়ার প্রচ্ছায়া অংশ [illegible] 6 × 10^5 miles দীর্ঘ এবং ইহা চন্দ্র ছাড়াইয়া বহুদূর পর্যন্ত বিস্তৃত।

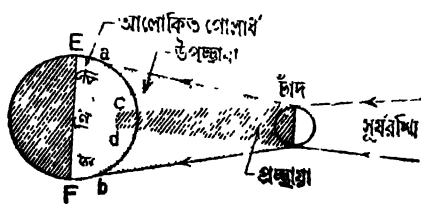
এই দূরত্বগুলি এত অধিক যে স্বল্প পরিসরে কোন স্কেল অনুযায়ী ছবি আঁকা সম্ভব নহে। তাই 1ণ হইতে 1ধ পর্যন্ত চিত্রগুলি কোন স্কেল অনুযায়ী আঁকা হয় নাই।]

সূর্যগ্রহণ:

সূর্যগ্রহণ তিন রকমের হইতে পারে। যথা:—(1) পূর্ণ গ্রহণ, (2) খণ্ড গ্রহণ ও (3) বলয় গ্রহণ।

নিজেদের কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতে করিতে অমাবস্যার যখন পৃথিবী (E) ও সূর্যের (S) মাঝখানে চাঁদ (M) আসে (1ণ নং চিত্র) তখন সূর্য হইতে আলোকরশ্মি অস্বচ্ছ চাঁদ কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইয়া ছায়ার সৃষ্টি করে। এই

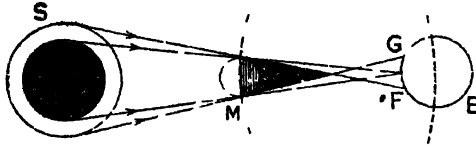
ছায়ার CD অংশ প্রচ্ছায়া এবং CG ও DF অংশ উপচ্ছায়া। চাঁদের ছায়ার প্রচ্ছায়া অংশ পৃথিবীর যে-জায়গায় পড়ে সেখানকার লোক সূর্যের কোন অংশই দেখিতে পায় না এবং CG বা DF অংশ পৃথিবীর যে-সব জায়গায় পড়ে সেখানকার লোক সূর্যের কিছু অংশ দেখিতে পায়। CG অংশের লোক সূর্যের উপরিভাগ দেখিবে এবং DF অংশের লোক সূর্যের নিম্নভাগ দেখিবে। সুতরাং CD অংশের লোকের নিকট সূর্যের **পূর্ণ গ্রহণ** (total eclipse) ও CG বা DF অংশেব লোকের নিকট সূর্যের **খণ্ড গ্রহণ** (partial eclipse) হইবে। চাঁদ পৃথিবী অপেক্ষা অনেক ছোট বলিয়া চাঁদের ছায়াও খুব ছোট। এই কারণে পৃথিবীর খুব কম অংশ চাঁদেব প্রচ্ছায়ার মধ্যে পড়ে। সুতবাং পৃথিবীর খুব অল্প জায়গা হইতে সূর্যের পূর্ণ গ্রহণ দেখা যায়। তাছাড়া, চাঁদের ছায়া দৈর্ঘ্যে ছোট হওয়ায় পৃথিবীব সমস্ত আলোকিত গোলার্ধকে (illuminated hemisphere) আবৃত করিতে পারে না। ফলে আলোকিত গোলার্ধের সকল স্থান হইতেই সূর্যগ্রহণ দেখিতে পাওয়া যায় না।

সূর্যগ্রহণ
চিত্র 1ণ

চিত্র নং 1ত লক্ষ্য কব। ঐ চিত্রে *ab* অংশ চাঁদের ছায়ার উপচ্ছায়া। উহা পৃথিবীর আলোকিত গোলার্ধের কিছু অংশ আবৃত করিয়াছে। কাজেই ঐ গোলার্ধের বাকী অংশ হইতে সূর্যগ্রহণ দেখা যাইবে না।

চিত্র নং 1ত

নিজ নিজ কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতে করিতে চাঁদ ও পৃথিবীর ভিতরকার দূরত্বের পরিবর্তন হয়। সময়-ভেদে উহাদের দূরত্বের এই তারতম্য হওয়ায় অনেক সময় এমন হয় যে চাঁদের প্রচ্ছায়া পৃথিবীকে স্পর্শ করিবার পূর্বেই শেষ হইয়া যায়। তৎপরিবর্তে উহাকে বাড়াইয়া যে বিপরীত অপসারী শঙ্কু হয়

তাহা পৃথিবীকে স্পর্শ করে। 1থ নং চিত্রে পৃথিবীর GF অংশে ঐ শঙ্কু স্পর্শ করিয়াছে। সুতরাং পৃথিবীর ঐ স্থানে অবস্থিত লোকেরা সূর্যের দিকে

সূর্যের বলয়গ্রহণ

চিত্র 1থ

তাকাইলে সূর্যের মাঝখানে একটি অন্ধকারাবৃত বৃত্তাকার অংশ ও উহার চতুর্দিকে একটি আলোকের বেষ্টনী দেখিতে পাইবে। এই ধরনের গ্রহণকে **বলয় গ্রাস** বা **গ্রহণ** (annular eclipse) বলে।

চন্দ্রগ্রহণ ঃ

আমরা জানি যে চন্দ্রের নিজস্ব কোন আলো নাই। সূর্য হইতে আলো চন্দ্র কর্তৃক প্রতিফলিত হয় বলিয়া চন্দ্রকে উজ্জ্বল দেখায়। পূর্ণিমায় চন্দ্র ও সূর্যের মাঝখানে পৃথিবী অবস্থিত হয়।

নিজ নিজ কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতে করিতে পূর্ণিমায় যখন চাঁদ (M) ও সূর্যের (S) মাঝখানে পৃথিবী (E) আসিয়া পড়ে তখন পৃথিবীর ছায়া চন্দ্রের উপর গিয়া পড়ে (1দ নং চিত্র)। যখন চাঁদ পৃথিবীর প্রচ্ছায়া কর্তৃক সম্পূর্ণ আবৃত হয় তখন উহা আর দৃষ্টির গোচরে থাকে না। তখন চন্দ্রের পূর্ণগ্রহণ হয়। আর যদি চন্দ্রের কিছু অংশ প্রচ্ছায়া কর্তৃক এবং কিছু অংশ উপচ্ছায়া কর্তৃক আবৃত হয় তবে চন্দ্রের খণ্ডগ্রাস হয়।

চন্দ্রগ্রহণ

চিত্র 1দ

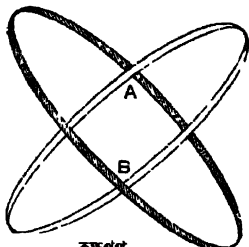
পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার ভিতর সম্পূর্ণ প্রবেশের পূর্বে চন্দ্রকে পৃথিবীর উপচ্ছায়ার ভিতর প্রবেশ করিতে হয়। উপচ্ছায়া অংশে সূর্য হইতে কম আলো পৌছায়।

এই কারণে চন্দ্র গ্রহণ সুরু হইবার কিছু পূর্বেই উহাকে খানিকটা ম্লান দেখায়। ঠিক একই কারণে গ্রহণ সম্পূর্ণ ছাড়িবার পরও চাঁদকে কিছু ম্লান দেখাইবে কারণ প্রচ্ছায়া হইতে বাহির হইয়া চাঁদ পুনরায় উপচ্ছায়ায় প্রবেশ করে।

পৃথিবীর আকার চন্দ্র অপেক্ষা বহুগুণ বড় হওয়ায় পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর শীর্ষবিন্দু সর্বদা চন্দ্রের কক্ষপথ ছাড়াইয়া যায় সুতরাং চন্দ্রের বলয় গ্রাস কখনও সম্ভব নয়।

সব অমাবস্যায় বা পূর্ণিমায় গ্রহণ হয় না কেন ?

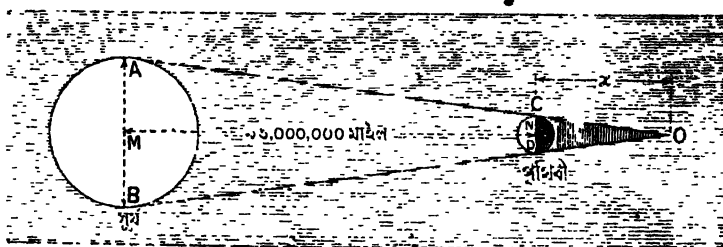
গ্রহণ আলোচনার সময় বলা হইয়াছে যে অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ ও পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ হয়। কিন্তু প্রত্যেক অমাবস্যা এবং প্রত্যেক পূর্ণিমাতে ত' গ্রহণ হয় না। ইহার কারণ কি ?

গ্রহণ—চন্দ্রের অথবা সূর্যের হউক—হইতে গেলে সূর্য, চন্দ্র ও পৃথিবী এক সরলরেখায় আসিতে হইবে। কিন্তু পৃথিবীর পরিভ্রমণের কক্ষতল (plane of orbit) এবং চন্দ্রের পরিভ্রমণের কক্ষতল এক নহে। এই দুই তলের মধ্যে প্রায় 5° ডিগ্রী ব্যবধান আছে। ইহার ফলে প্রত্যেক পূর্ণিমাতেই চাঁদ পৃথিবীর ছায়ার ভিতর যায় না—হয় উপরে কিংবা নীচে অবস্থান করে। সুতরাং গ্রহণ হয় না। তেমনি প্রত্যেক অমাবস্যাতেও চাঁদের ছায়া পৃথিবীর উপরে পড়িতে পারে না। যে-পূর্ণিমা বা অমাবস্যাতে ইহারা এক সরলরেখায় আসিবে অর্থাৎ যখন চাঁদ A অথবা B বিন্দুর কাছাকাছি আসিবে (চিত্র নং 1ধ) —তখনই গ্রহণ হইবে। এই দুই বিন্দুকে রাহু ও কেতু বলে।

চিত্র 1ধ

1-7. ছায়াসংক্রান্ত পরিমাপ (Measurement in connection with shadows) :

নিম্নলিখিত উদাহরণগুলি হইতে ছায়াসংক্রান্ত পরিমাপ পরিষ্কাররূপে বোধগম্য হইবে :—

(1) 1ন নং চিত্রে সূর্যের আলো পৃথিবীর উপর পড়িলে কিরূপে পৃথিবীর ছায়া উৎপন্ন হয় তাহা দেখানো হইয়াছে। ঐ ছায়া শঙ্কু-আকৃতির (conical

shaped)। AB সূর্যের ব্যাস এবং CD পৃথিবীর ব্যাস। সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব 93,000,000 মাইল। ইহা হইতে আমরা পৃথিবীর ছায়ার দৈর্ঘ্য—অর্থাৎ পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে ছায়া-শঙ্কুর শীর্ষবিন্দু O পর্যন্ত দূরত্ব নির্ণয় করিতে পারি। 1ন নং চিত্রে সরল জ্যামিতিক প্রয়োগ দ্বারা লিখিতে পারা যায়,—

চিত্র 1ন

$$\frac{AB}{CD}=\frac{MO}{NO}$$

অর্থাৎ, $\dfrac{\text{সূর্যের ব্যাস}}{\text{পৃথিবীর ব্যাস}} = \dfrac{\text{শীর্ষবিন্দু হইতে সূর্যের দূরত্ব}}{\text{,, ,, পৃথিবীর ,,}}$

এখন, সূর্যের ব্যাস পৃথিবীর ব্যাসের প্রায় 109 গুণ। শীর্ষবিন্দু হইতে পৃথিবীর দূরত্ব—অর্থাৎ ছায়ার দৈর্ঘ্য x ধরিলে উপরোক্ত সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{109}{1}=\frac{93{,}000{,}000+x}{x}$$

or, $x=861{,}111$ মাইল (প্রায়)

অর্থাৎ, পৃথিবীর ছায়ার দৈর্ঘ্য প্রায় 861,111 মাইল।

(2) একটি চাকতির ব্যাস 1 ইঞ্চি। চাকতিকে চোখ হইতে কতদূরে রাখিলে উহা ঠিক সূর্যকে আবৃত করিবে? সূর্যের ব্যাস 860,000 মাইল এবং সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব 93,000,000 মাইল।

[The diameter of a disc is 1 inch. How far from the eye should it be placed so that it may just cover the sun. The diameter of the sun is 860,000 miles and the distance between the earth and the sun is 93,000,000 miles.]

একক্ষেত্রে সূর্যকে সম্পূর্ণ আবৃত করিতে হইলে চাকতির ছায়া-শঙ্কুর শীর্ষবিন্দু ঠিক চোখে পড়া চাই। 1ন নং চিত্রে পৃথিবীর বদলে চাকতিটি কল্পনা করিলে চোখ ঠিক O-বিন্দুতে থাকিবে। অতএব, আমরা লিখিতে পারি,

$$\frac{\text{সূর্যের ব্যাস}}{\text{চাকতির ব্যাস}} = \frac{\text{চোখ হইতে সূর্যের দূরত্ব}}{\text{,, ,, চাকতির ,,}}$$

অথবা, $$\frac{\text{সূর্যের ব্যাস}}{\text{চোখ হইতে সূর্যের দূরত্ব}} = \frac{\text{চাকতির ব্যাস,}}{\text{চোখ হইতে চাকতির দূরত্ব}}$$

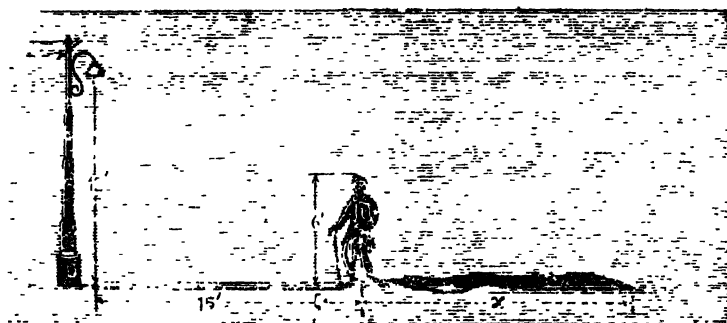
$$\therefore \frac{860,000}{93,000,000} = \frac{1}{x}$$

$$x = \frac{9300}{86} \text{ inches}$$

$$= \frac{9300}{86 \times 12} \text{ ft.}$$

$$= 9{\cdot}01 \text{ ft.}$$

অর্থাৎ চোখ হইতে চাকতিকে 9 01 ft. দূরে রাখিতে হইবে।

(3) 1প নং চিত্রে রাস্তার আলো দ্বারা কোন পথচারীর ছায়া দেখানো হইয়াছে। যদি রাস্তা হইতে আলোর উচ্চতা 12 ft., মানুষটির উচ্চতা 6 ft.

চিত্র 1প

এবং আলো হইতে মানুষটির দূরত্ব 15 ft. হয় তবে পথচারীর ছায়ার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[A man 6 ft. high, is standing at a distance of 15 feet from a street lamp which is 12 feet above the horizontal road-way. Find the length of the man's shadow.]

ছায়ার দৈর্ঘ্য x ধরিলে আমরা লিখিতে পারি,

$$\frac{\text{আলোর উচ্চতা}}{\text{মানুষের ,,}} = \frac{\text{ছায়ার শীর্ষবিন্দু হইতে আলোকের দূরত্ব}}{\text{,, ,, ,, মানুষের ,,}}$$

অথবা, $\frac{12}{6} = \frac{15+x}{x}$

,, $2x = 15 + x$

,, $x = 15$ ft.

অর্থাৎ পথচারীর ছায়ার দৈর্ঘ্য হইবে 15 ft.

1-8. আলোকের গতিবেগ (Velocity of light) :

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে আলো প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 186,000 মাইল গতিবেগ লইয়া চলে। সুতরাং আলোর গতিবেগ প্রচণ্ড। প্রকৃতপক্ষে কোন বস্তুর গতিবেগ আলোর গতিবেগকে ছাড়াইয়া যাইতে পারে না।

সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব প্রায় 93,000,000 মাইল এবং উপরোক্ত গতিবেগ লইয়া চলিবার ফলে সূর্য হইতে পৃথিবীতে পৌছাইতে আলোর প্রায় 8·3 মিনিট সময় লাগে। কিন্তু নভোমণ্ডলে এমন এমন নক্ষত্র বা গ্রহ আছে যাহাদের দূরত্ব সূর্যের দূরত্বের বহুগুণ। সুতরাং সেই সমস্ত বস্তু হইতে পৃথিবীতে আলো আসিতে যথেষ্ট সময় লাগে। সেই সমস্ত গ্রহ বা নক্ষত্রে কোন মুহূর্তে পৃথিবী হইতে কিছু লক্ষ্য করিলে তাহা ঠিক সেই মুহূর্তে ঘটে না, তাহার বেশ কিছু পূর্বে ঘটে। যেমন, পৃথিবীর সবাপেক্ষা নিকটতম স্থির নক্ষত্র (fixed star) Alpha centauri হইতে আজ যে-আলো আসিয়া পৃথিবীতে পৌছাইবে তাহা উক্ত নক্ষত্র হইতে 4·4 বৎসর পূর্বে যাত্রা করিয়াছে। যদি নভোমণ্ডলের সবাপেক্ষা উজ্জ্বল নক্ষত্র Sirius আজ হঠাৎ ধ্বংসপ্রাপ্ত হয় তবে উহা হইতে আলো আরো 8·8 বৎসর ধরিয়া পৃথিবীতে পৌছাইবে। সুতরাং ইহা হইতে বুঝিতে পারো যে এই বিশ্ব কত বিরাট।

আলোর গতিবেগ নির্ণয়ের প্রথম পরীক্ষা করেন ডেনমার্কের জ্যোতির্বিজ্ঞানী রোমার। পরে, ফিজু, মাইকেলসন্, অ্যাণ্ডারসন্ এবং আরো অনেক বিজ্ঞানী এই সম্বন্ধে পরীক্ষা করিয়াছেন। সর্বাধুনিক পরিমাপ অনুযায়ী শূন্যে আলোর গতিবেগ,

$$V = 299{,}774 \pm 5 \text{ km/sec}$$
$$= 2{\cdot}99774 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$$
$$= 186{,}285 \text{ miles/sec.}$$

1-9. আলোক-বর্ষ (Light-year) :

বিরাট মহাকাশে যে অসংখ্য নক্ষত্ররাজি আছে তাহাদের ভিতরকার দূরত্ব এত বেশী যে মাইলে প্রকাশ করিলে উহা বিরাট সংখ্যায় দাড়াইবে। এই সুবিশাল দূরত্ব সমূহকে প্রকাশ করিবার জন্য জ্যোতিবিজ্ঞানীরা 'আলোক-বর্ষ'কে দূরত্বের একক হিসাবে ব্যবহার করেন। প্রতি সেকেণ্ডে 186,000 মাইল গতিবেগ লইয়া আলো এক বৎসর সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে এক আলোক-বর্ষ ধরা হয়। সুতরাং

$$1 \text{ আলোক-বর্ষ} = 186000 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ মাইল}$$
$$= 5{\cdot}86 \times 10^{12} \text{ miles (প্রায়)}$$

অথবা, $1 \text{ আলোক-বর্ষ} = 300{,}000 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60$ কিলোমিটার
$$= 9{\cdot}45 \times 10^{12} \text{ কিলোমিটার।}$$

সারাংশ

আলো এমন এক বাহ্যিক প্রেরণা যাহা চোখে কোন বস্তু সম্বন্ধে দর্শন অনুভূতি সৃষ্টি করে। তাপ, বিদ্যুৎ প্রভৃতির ন্যায় আলোকও এক প্রকার শক্তি। ইহা তরঙ্গের আকারে একস্থান হইতে অন্যস্থানে চলাচল করে।

আলোক কোন সমসত্ত্ব মাধ্যমের মধ্য দিয়া সরল রেখা অবলম্বন করিয়া চলে।

সূচী-ছিদ্র ক্যামেরা : ইহা দ্বারা আলোকের ঋজুগতি প্রমাণিত হয়। একটি কার্ডবোর্ডের বাক্সের সম্মুখতলে একটি সূচীছিদ্র করিয়া পশ্চাদ্ভাগে একটি ঘষা-কাচের প্লেট রাখা হয়। কোন দ্রব্য ছিদ্রের সম্মুখে রাখিলে কাচের প্লেটের উপর উহার উল্টা প্রতিকৃতি পড়ে।

ছায়া : আলোকের গতিপথে অস্বচ্ছ বস্তু রাখিলে বস্তুর ছায়া সৃষ্টি হয়। ইহাও আলোকের ঋজুগতির প্রমাণ।

আলোকের উৎস ও অস্বচ্ছ বস্তুর আপেক্ষিক আকৃতির উপর ছায়ার আকৃতি নির্ভর করে। উৎস বিস্তৃত হইলে যে-ছায়ার সৃষ্টি হয় তাহার কতকাংশে সম্পূর্ণ অন্ধকার এবং বাকী অংশে আংশিক অন্ধকার দেখা যায়। প্রথমোক্ত অংশকে প্রচ্ছায়া ও শেষটিকে উপচ্ছায়া বলে।

গ্রহণ : গ্রহণ চন্দ্রের ও সূর্যের হইয়া থাকে। অমাবস্যায় যখন চাঁদ পৃথিবী ও সূর্যের মধ্যে আসে তখন চাঁদের ছায়া পৃথিবীতে পড়িয়া সূর্যগ্রহণের সৃষ্টি করে।

আবার পূর্ণিমায় যখন চাঁদ ও সূর্যের মাঝখানে পৃথিবী আসে তখন পৃথিবীর ছায়ার ভিতর চাঁদ প্রবেশ করিলে চন্দ্রগ্রহণ হয়।

চন্দ্র ও পৃথিবীর পরিভ্রমণের কক্ষতলের ভিতর সামান্য কৌণিক ব্যবধান থাকায় প্রত্যেক অমাবস্যা বা প্রত্যেক পূর্ণিমাতে গ্রহণ হয় না।

আলোর গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 186,000 মাইল। সূর্য হইতে পৃথিবীতে আলো আসিতে প্রায় 8·3 মিনিট সময় লাগে।

1 আলোক-বর্ষ $= 5{\cdot}86 \times 10^{12}$ মাইল অথবা $9{\cdot}45 \times 10^{12}$ কিলোমিটার।

প্রশ্নাবলী

1. উপযুক্ত উদাহরণ এবং পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও যে আলো সরলরেখায় চলাচল করে।

[Explain with suitable illustration and experiments that light travels in a straight line] [*cf. H. S. (comp.) 1961*]

2. সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার বর্ণনা ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ঐ ক্যামেরা সম্পর্কে নিম্নলিখিত প্রশ্নের উত্তর লেখ:—(ক) ছিদ্রের আকার বড় করিলে কি হয়? (খ) ছিদ্র হইতে ঘষা-কাচের দূরত্ব বৃদ্ধি করিলে কি হয়? (গ) ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব বৃদ্ধি করিলে কি হয়? (ঘ) ছিদ্রের আকৃতি পরিবর্তন করিলে কি হয়?

[Describe a pin-hole camera and explain its action Discuss the effect on the image of (*a*) enlarging the hole (*b*) increasing the distance between the pin-hole and the ground-glass screen (*c*) increasing the distance between the object and the pin-hole (*d*) altering the shape of the hole.]

3. একটি নকশার সাহায্যে সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। ছিদ্রের আকার বৃদ্ধি করিলে কি হয়?

[Explain, with a diagram, the working of a pin-hole camera. What is the effect of increasing the size of the hole ?] [*H. S. Exam., 1960, '62*]

4. একটি অন্ধকার ঘরে বাক্সের ভিতর একটি জ্বলন্ত মোমবাতি রাখা আছে; বাক্সের যে-কোন গায়ে একটি ছোট ছিদ্র করা হইল এবং ছিদ্র হইতে কিছু দূরে একখানি সাদা কাগজ ধরা হইল। কাগজের উপর কি দেখা যাইবে তাহা বর্ণনা কর ও উহার উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা কর।

[A burning candle is placed inside a box in a dark room. A small hole is cut on one side of the box and a sheet of white paper is held at a short distance in front of the hole. Describe and explain the appearance seen on the paper.]

5. 10 ft. × 10 ft. একটি অন্ধকার ঘরের কোন সাদা দেয়ালের মধ্যস্থলে একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র আছে। ছিদ্র হইতে বাহিরে এবং কিছু দূরে 55 ft. উঁচু একটি গাছ আছে। ছিদ্রের বিপরীত দিকের দেওয়ালে গাছের 11 inches উঁচু একটি প্রতিকৃতি দেখিতে পাওয়া গেল। ছিদ্র হইতে গাছের দূরত্ব কত ?

[A dark room 10 ft. square with white walls has a small hole on the centre of one wall. An image 11 inches high of a tree is formed on the opposite wall, the tree being 55 ft high and situated at a certain distance outside the hole. How far is the tree from the hole ?] [Ans. 600 ft.]

6. একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব 8 inches এবং পর্দার উচ্চতা 6 inches ; 200 ft. উঁচু একটি গাছের পূর্ণ প্রতিকৃতি পর্দায় গঠন করিতে হইলে গাছ হইতে ক্যামেরা কতদূরে রাখিতে হইবে ?

[The distance of the pin-hole to the plate, in a pin-hole camera, is 8 inches. How far from a tree 200 ft. high must the camera be placed to get the whole image of the tree on the plate if it is 6 inches high ?] [Ans. 266·6 ft.]

7. একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার ছিদ্র হইতে 15 cm. দূরে একটি মোমবাতি আছে। বাতিটির শিখা 2 cm. দীর্ঘ। ক্যামেরার পর্দাটি ছিদ্র হইতে 25 cm. দূরে স্থাপিত হইলে প্রতিকৃতির সাইজ কত হইবে ?

[A candle flame 2 cms. high is at a distance of 15 cm. from the pin-hole of a pin-hole camera. Find the size of the image when the screen of the camera is placed 25 cm. away from the hole.] [Ans. 3·33 cm.]

8. ছায়ার সৃষ্টি কিরূপে হয় ? একটি বিস্তৃত আলোকপ্রভব হইতে আলোকরশ্মি নির্গত হইয়া একটি বিস্তৃত অস্বচ্ছ বস্তু দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হইলে কিরূপে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার সৃষ্টি হয় তাহা নক্শা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

[How are shadows formed ? Explain, with a diagram, the formation of umbra and penumbra when rays of light from an extended source are obstructed by an extended object.] [*cf. H. S. Exam. 1961*]

9 প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার ভিতর পার্থক্য কি ? পাখি যখন নীচু দিয়া উড়ে তখন উহার ছায়া মাটিতে পড়ে কিন্তু উপরে উঠিলে আর ছায়া দেখা যায় না। কেন ?

[What is the difference between umbra and penumbra ? When a bird flies at a very low altitude, its shadow on the earth is distinguishable. But as the bird moves higher up, the shadow becomes gradually indistinguishable. Why ?] [*H. S. Exam. 1964*]

10. পত্রবহুল বড় গাছের ছায়ার মধ্যে গোল এবং ডিম্বাকার আলোকচক্র দেখা যায় কেন ?

[Why are circular and elliptical patches of light seen in the shadow of a big tree ?]

11. 4 inches ব্যাসের গোলাকার একটি আলোক উৎস হইতে 8 ft. দূরে 2 inches ব্যাসের একটি গোল অস্বচ্ছ বস্তু রাখা আছে। বস্তু হইতে নিকটতম কত দূরে একখানি পর্দা রাখিলে পর্দায় প্রচ্ছায়া-বিহীন ছায়া হইবে?

[A circular uniform source of light, 4 inches in diameter, is placed at a distance of 8 ft from a spherical opaque body 2 inches in diameter. Find the shortest distance from the latter at which a screen may be placed so as to have no umbra in the shadow cast upon it] [Ans. 8 ft.]

12. 8 inches ব্যাসযুক্ত একটি ধাতব বল হইতে 2 ft. দূরে একটি গোলাকার আলোক-উৎস রাখা আছে। আলোক-উৎসের ব্যাস 6 inches ধাতব বলের 1 ft. পশ্চাতে একটি পর্দা রাখিলে ঐ পর্দায় যে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া সৃষ্টি হইবে তাহাদের ব্যাস নির্ণয় কর।

[Calculate the lengths of the diameters of the umbra and penumbra of the shadow of a metal ball 8 inches in diameter placed 2 ft from a source of light which is 6 inches in diameter, the screen being 1 ft from the ball]

[Ans. 9 inches , 15 inches.]

13. গ্রহণ কাহাকে বলে? সুন্দর চিত্র আঁকিয়া চন্দ্রের ও সূর্যের গ্রহণ ব্যাখ্যা কর।

[What is an eclipse? Explain, with neat diagrams, the occurrence of lunar and solar eclipses.] [*cf. H S Exam, 1961*]

14. সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ বুঝাইবার জন্য দু'খানি পরিষ্কার ছবি আঁক। (কোন ব্যাখ্যার প্রয়োজন নাই)।

তোমার আঁকা সূর্যগ্রহণের ছবি হইতে বল (i) পৃথিবীর আলোকিত গোলার্ধের সব জায়গা হইতে গ্রহণ দেখা যায় না কেন? (ii) একস্থানে সূর্যের পূর্ণগ্রহণ এবং অন্য স্থানে খণ্ড গ্রহণ দেখা যায় কেন?

প্রত্যেক অমাবস্যা এবং পূর্ণিমাতে গ্রহণ হয় না কেন?

[Draw two neat diagrams to illustrate eclipses of the sun and the moon (Only diagrams and no descriptions are necessary). In reference to the diagram of solar eclipse that you draw explain why (i) a solar eclipse is not visible at all places over the illuminated hemisphere of the earth · (ii) a solar eclipse may be *total* at a place but *partial* at another? Why do not eclipses take place at every full moon and new moon?] [*H. S. Exam 1963*]

15. বলয় গ্রহণ কি? ইহা সূর্যের হয় না চন্দ্রের হয়? ইহা কিরূপে হয়? প্রত্যেক অমাবস্যা এবং পূর্ণিমাতে গ্রহণ হয় না কেন?

[What is an annular eclipse? Does it take place for the sun or for the moon? How does it take place? Why don't we find eclipse occuring on every full moon and new moon?]

16. চন্দ্রগ্রহণ সম্পর্কে নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :—

(ক) কখন চন্দ্রের পূর্ণ গ্রহণ হয়?

(খ) কখন চন্দ্রের খণ্ড গ্রহণ হয়?

(গ) গ্রহণ আরম্ভ হইবার পূর্বে এবং পরে কিছুক্ষণের জন্য চন্দ্রের উজ্জ্বলতা হ্রাস পায় কেন ?

(ঘ) সকল পূর্ণিমাতে চন্দ্র গ্রহণ দেখা যায় না কেন ?

(ঙ) চন্দ্রের বলয় গ্রহণ হয় না কেন ?

[Answer the following questions in connection with lunar eclipse :—

(a) When does total eclipse take place ?

(b) When does partial eclipse take place ?

(c) Why does the brightness of the moon become dimmer for some time before and after the eclipse ?

(d) Why do not eclipses take place at every full moon ?

(e) Why don't we find annular eclipse of the moon ?]

17. সূর্যের ব্যাস 9×10^5 মাইল, পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব 9×10^7 মাইল এবং চন্দ্রের ব্যাস 2100 মাইল। পৃথিবীর উপরিস্থ কোন একটি বিন্দু হইতে পূর্ণ সূর্যগ্রহণ দেখা গেলে পৃথিবী হইতে চন্দ্রের তখনকার দূরত্ব নির্ণয় কর। হিসাবের সুবিধার জন্য ঐ বিন্দু এবং পৃথিবীর কেন্দ্র এক ধরিয়া লইতে পারো।

[The diameter of the sun being taken as 9×10^5 miles and its distance from the earth 9×10^7 miles and the diameter of the moon 2100 miles, find the distance of the earth from the moon at the time of a solar eclipse when the eclipses is total only at a single point on the earth. For convenience of calculation, the point in question and the centre of the earth may be assumed coincident.] [Ans. 21×10^4 miles]

18. একটি পয়সা হইতে 9 ft. দূরে কোন বিন্দুতে সূর্য ও পয়সাটি একই কোণ উৎপন্ন করে। পয়সা হইতে 5 ft দূরে আলোকরশ্মির সহিত লম্বভাবে একখানি কাগজ রাখিলে ঐ কাগজের উপর পয়সার যে ছায়া পড়িবে তাহার ব্যাস নির্ণয় কর। সূর্যের ব্যাস 86,0000 মাইল এবং সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব 93,000,000 মাইল।

[The sun subtends the same angle as a pice subtends at a distance of 9 ft. Calculate the diameter of the shadow of the pice cast by the sun on a paper held perpendicular to the ray at a distance of 5 ft. from the pice The diameter of the sun is 86,0000 miles and the distance between the sun and the earth is 93,000,000 miles.] [Ans. 0·44 inch]

19. $5\frac{1}{2}$ ফুট উচ্চতার জনৈক ব্যক্তি রাস্তার আলোকদণ্ড হইতে 5 ফুট দূরে দাঁড়াইয়া আছে। আলোটি রাস্তা হইতে 9 ফুট উঁচু। ব্যক্তিটির ছায়ার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[A man, $5\frac{1}{2}$ feet high, is standing at a distance of 5 feet from a street lamp, the flame of which is 9 feet above the horizontal road-way. Find the length of the man's shadow.] [*H. S. Exam. 1960*] [Ans. 7·8 ft.]

20. 2 metres উঁচু একটি খাড়া স্তম্ভ একটি খাড়া আলোকদণ্ড হইতে 2·5 metres দূরে আছে। বাতির উজ্জ্বল ফিলামেণ্ট ভূমি হইতে 4 metres উঁচুতে আছে। ভূমিতে স্তম্ভের যে ছায়া সৃষ্টি হইবে তাহার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[A vertical pillar, 2 metres high, stands at a distance of 2·5 metres from the base of a vertical lamp-post. The incandescent filament of the lamp is at a height of 4 metres from the ground. Determine the length of the shadow of the pillar on the ground below.] [Ans. 2·5 metres]

21. 'প্রচ্ছায়া' এবং 'উপচ্ছায়া'র ভিতর পার্থক্য কি? ছায়া গঠিত হইবার মূল নীতি বর্ণনা কর। গোলীয় প্রতিবন্ধকের দরুন নিম্নলিখিত উৎসের দ্বারা গঠিত প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়ার অংশ পরিষ্কার ছবি আঁকিয়া দেখাও :—

(i) বিন্দু আলোক উৎস (ii) উজ্জ্বল গোলক কিন্তু আকারে প্রতিবন্ধক অপেক্ষা ক্ষুদ্র (iii) উজ্জ্বল গোলক কিন্তু আকারে প্রতিবন্ধক অপেক্ষা বৃহৎ।

কোন বর্ণনার প্রয়োজন নাই।

[Distinguish between 'Umbra' and 'Penumbra'. State the physical principle involved in the formation of shadows.

Indicate, by means of neat diagrams, the regions of umbra and penumbra if any, due to a spherical obstacle by—

(i) a point source of light (ii) a luminous sphere smaller in size than the obstacle (iii) a luminous sphere larger in size than the obstacle. No description is necessary. [*H. S. (Comp.) 1960, '63*]

22. 10 ft. চওড়া একটি ঘরের কোন জানালায় একটি ক্ষুদ্র ফুটা আছে। ঘরের বাহিরের একটি গাছের প্রতিকৃতি বিপরীত দেওয়ালে গঠিত হইল। প্রতিকৃতির উচ্চতা 4 ft এবং জানালা হইতে গাছের দূরত্ব 80 ft. হইলে গাছের উচ্চতা কত?

[A small hole is made in the window shutter of a room 10 ft wide and an image of a tree outside the room is formed on the opposite wall. If the tree is 80 ft away from the window and the image is 4 ft high, what is the height of the tree?] [Ans. 32 ft.]

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

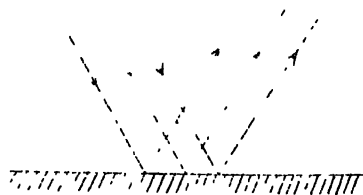
সমতলে আলোকের প্রতিফলন

[Reflection of light at a plane surface]

2-1. আলোকের প্রতিফলন (Reflection of light) :

আমরা দেখিয়াছি যে কোন সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক সরলরেখায় গমন করে। কিন্তু আলো যখন এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হয় তখন ঐ আলোর কিয়দংশ দ্বিতীয় মাধ্যমের তল (surface) হইতে পুনরায় সরলরেখায় প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। এই ঘটনাকে আলোর **প্রতিফলন** বলে। আপতিত আলোর কত অংশ প্রতিফলিত হইবে তাহা দুইটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে। প্রথমতঃ আপতিত আলো প্রতিফলকের উপর কত কোণে আপতিত হইল এবং দ্বিতীয়তঃ কোন মাধ্যম হইতে আসিয়া কোন মাধ্যম কর্তৃক প্রতিফলিত হইল। দেখা গিয়াছে বায়ু হইতে সরাসরি অভিলম্ব ভাবে আলো কাচে পড়িলে প্রায় 4.5% আলো প্রতিফলিত হয়। আলোকরশ্মি প্রতিফলক তলে যত কাত হইয়া পড়িবে তত বেশী পরিমাণ আলো প্রতিফলিত হইবে। বায়ু হইতে রূপালি দর্পণে অভিলম্ব ভাবে আলো পড়িলে প্রায় 80% আলো প্রতিফলিত হয়। দর্পণ দ্বারা আলোর প্রতিফলন তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। কাচের জানালার উপর সূর্যের আলো আসিয়া পড়িলে আলো প্রতিফলিত হয়, তাহাও তোমরা জান। সুতরাং আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতায় আলোর প্রতিফলন সর্বদাই দেখিতে পাই।

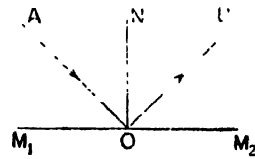
প্রতিফলকের তল অনুযায়ী আলোর প্রতিফলন দুই প্রকার হইতে পারে যথা :— (1) **নিয়মিত** (regular) **প্রতিফলন,** (2) **বিক্ষিপ্ত** (diffused) **প্রতিফলন।**

2-2. নিয়মিত প্রতিফলন (Regular reflection) :

যদি প্রতিফলকের তল মসৃণ হয় তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি একটি নির্দিষ্ট দিকে যাইবে এবং আপতিত রশ্মিগুচ্ছের সহিত প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছের মিল থাকিবে। 2ক নং চিত্রে একটি মসৃণ তলে একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি আপতিত হইয়াছে।

সমান্তরাল রশ্মির নিয়মিত প্রতিফলন

চিত্র 2ক

উহাদের প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছও সমান্তরাল। এই ধরনের প্রতিফলনকে নিয়মিত প্রতিফলন বলে।

2খ নং চিত্রে একটি রশ্মি লইয়া নিয়মিত প্রতিফলন দেখান হইয়াছে। AO রশ্মি M_1M_2 প্রতিফলক দ্বারা OB রশ্মিতে প্রতিফলিত হইয়াছে। এখানে AO রশ্মিকে **আপতিত** (incident) **রশ্মি** বলা হয় এবং OB কে বলা হয় **প্রতিফলিত** (reflected) **রশ্মি**। যে-বিন্দুতে আপতিত রশ্মি প্রতিফলকের উপর পড়ে (অর্থাৎ, O বিন্দু) তাহাকে বলা হয় **আপতন বিন্দু** (point of incidence)। আপতন বিন্দু দিয়া প্রতিফলকের উপর যদি লম্ব টানা যায় (ছবিতে ON), তবে উহাকে **অভিলম্ব** (normal) বলা হয়।

চিত্র 2খ

আপতিত রশ্মি অভিলম্বের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (অর্থাৎ ∠AON) উহাকে **আপতন কোণ** (angle of incidence) এবং প্রতিফলিত রশ্মি অভিলম্বের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (অর্থাৎ ∠BON উহাকে **প্রতিফলন কোণ** (angle of reflection) বলে।

2-3. নিয়মিত প্রতিফলনের সূত্র (Laws of regular reflection)

নিয়মিত প্রতিফলন নিম্নলিখিত দুইটি সূত্রানুগামী হইয়া থাকে।

(1) **আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও আপতন বিন্দু দিয়া প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।**

(2) **আপতন কোণ সর্বদা প্রতিফলন কোণের সমান হইবে** অর্থাৎ ∠AON = ∠BON (চিত্র নং 2খ)।

2-4. বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (Diffused reflection):

যদি প্রতিফলকের তল অমসৃণ হয়, তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চতুর্দিক ছড়াইয়া পড়ে এবং আপতিত রশ্মিগুচ্ছের সহিত প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছের কোন মিল থাকে না। 2গ নং চিত্রে এক গুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি একটি অমসৃণ তলে আপতিত হইয়াছে। প্রত্যেকটি আলাদা রশ্মির নিয়মিত প্রতিফলন হইবে কিন্তু যেহেতু তল অমসৃণ সেই হেতু তলের বিভিন্ন বিন্দুতে অভিলম্ব বিভিন্ন দিকে হইবে। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চারিদিকে বিক্ষিপ্ত হইতে

এবং আপতিত রশ্মির সহিত কোন মিল থাকিবে না। ইহাকে **বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন** বলা হয়।

আলোকরশ্মির বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন
চিত্র 2গ

ঘষা কাচ, সাদা কাগজ, ঘরের দেওয়াল, সিনেমার পর্দা ইত্যাদি অমসৃণ বলিয়া বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন সৃষ্টি করে। ইহার ফলে এই বস্তুগুলি যেদিক হইতে দেখা যাক না কেন সর্বত্র সমান উজ্জ্বল দেখাইবে। কিন্তু সমতলে দর্পণ নিয়মিত প্রতিফলন সৃষ্টি করে বলিয়া দর্পণের যে-অংশ প্রতিফলনে অংশ গ্রহণ করে সেই অংশই চকচকে দেখায়।

যদি পরিষ্কার এক টুকরা কাচের প্লেটের উপর আলো আসিয়া পড়ে, তাহা হইলে খুব অল্প আলোই প্রতিফলিত হইবে—বেশীর ভাগ আলোই কাচ ভেদ করিয়া অপর পার্শ্বে চলিয়া যাইবে। এই কারণে দর্পণ তৈয়ারী করিতে হইলে কাচের প্লেটের একপাশে পাতলা ধাতব প্রলেপ—সাধারণত পারদ প্রলেপ—দেওয়া হয়। এই প্রলেপ অস্বচ্ছ বলিয়া বেশীর ভাগ আলোই এই প্রলেপ দ্বারা প্রতিফলিত হইবে। ইহাকে **সিলভারিং** (silvering) বলা হয়। সুতরাং এই ধরনের দর্পণ কর্তৃক আলোর প্রতিফলনের সময় মনে রাখিতে হইবে যে বেশীর ভাগ প্রতিফলনই দর্পণের পশ্চাদ্‌ভাগ—অর্থাৎ পারদপ্রলেপযুক্ত তল হইতে হইতেছে ; সম্মুখ তল হইতে খুব সামান্য প্রতিফলন হয়।

যদি কোন কৃষ্ণবর্ণ তলের উপর আসিয়া আলো পড়ে তবে ঐ আলোর বিশেষ কোন অংশই তল কর্তৃক প্রতিফলিত হইবে না বা ঐ তল ভেদ করিয়া যাইবে না। ঐ ধরনের তল আলোকে প্রায় সম্পূর্ণ শোষণ করিয়া লয়। এই কারণে ক্যামেরা, দূরবীণ, প্রভৃতি আলোকীয় যন্ত্রের অভ্যন্তর কৃষ্ণবর্ণ করা থাকে যাহাতে ঐ সকল যন্ত্রের অভ্যন্তরে আলোর কোন অবাঞ্ছিত প্রতিফলন না হইতে পারে। ঠিক বিপরীত ঘটনা ঘটে সাদা তলের (white surface) ক্ষেত্রে। সাদা তল কোন আলোই শোষণ করে না। তাই, সিনেমার পর্দা সাদা রংয়ের করা হয়। ইহাতে আলোর শোষণ হইতে পারে না এবং প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা বৃদ্ধি পায়। তাছাড়া, সাদা পশ্চাদ্‌পটে কালো ছবি ভাল ফুটিয়া উঠে বলিয়াও সিনেমার পর্দা সাদা করা হয়।

ঘষা কাচ (ground glass) স্বচ্ছ নয় কিন্তু জলে ভিজাইলে উহা প্রায় স্বচ্ছ

হয়। ইহার কারণ এই যে, কাচ ঘষা হওয়াতে উহার তল অমসৃণ এবং উহার উপর আলোকরশ্মি পড়িলে বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন হয়। তাই উহাকে অস্বচ্ছ দেখায় কিন্তু উহাকে জলে ভিজাইলে উহার দুই পৃষ্ঠে জলের একটি সূক্ষ্ম স্তর পড়ে। ইহাতে অমসৃণ তল কিছুটা মসৃণ হয় এবং আলোকরশ্মির মোটামুটি নিয়মিত প্রতিফলন হয়। তখন উহাকে প্রায় স্বচ্ছ দেখায়।

সূর্যোদয়ের কিছুপূর্বে এবং সূর্যাস্তের কিছু পরে পূর্ব এবং পশ্চিমাকাশ লাল হইয়া উঠে, নিশ্চয়ই লক্ষ্য করিয়াছ। ইহাদিগকে যথাক্রমে বলা হয় **উষা** (dawn) এবং **গোধূলি** (twilight)। আকাশে ভাসমান অসংখ্য ধূলিকণা ও জলকণা কর্তৃক সূর্যরশ্মির বিক্ষেপের জন্য ঐরূপ হয়—অর্থাৎ ঐ কণাগুলি সূর্যরশ্মির বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন সৃষ্টি করে।

2-5. প্রতিফলন সূত্রসমূহের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental verification of the laws of reflection) :

প্রতিফলনের সূত্র পরীক্ষামূলকভাবে দুই উপায়ে প্রমাণ করা যায়।

(1) হার্টল-এর আলোকচক্র (Hartle's optical disc) দ্বারা ও

(2) পিন দ্বারা।

পরীক্ষা :

(1) হার্টল-এর আলোকচক্র দ্বারা :

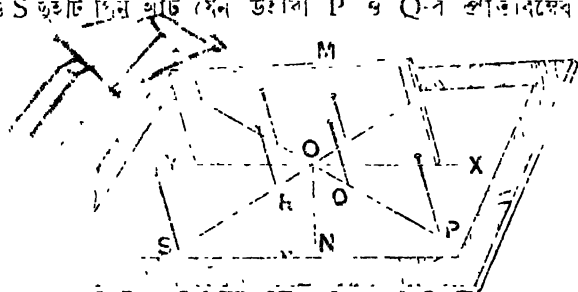
একটি পাতলা গোলাকার ধাতবচক্র একটি দণ্ডের উপর খাড়াভাবে বসানো আছে। চক্রটি চার ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগ 0°—90° ডিগ্রী স্কেলে দাগ কাটা আছে। চক্রটিকে উহার কেন্দ্রগত একটি অনুভূমিক অক্ষের (horizontal axis) চতুর্দিকে লম্বতলে (vertical plane) ঘুরানো যায়। S একটি ধাতব পর্দা এবং উহার গায়ে একটি সরু ছিদ্র A আছে। এই ছিদ্র দিয়া আলোকরশ্মি প্রবেশ করে ও চক্রের তলে পতিত হয়। 90°--90° রেখার সহিত মিশাইয়া একটি পাতলা সমতল দর্পণ (plane mirror) M লাগানো থাকে। সুতরাং 0°–0° রেখা দর্পণের মধ্যস্থল দিয়া দর্পণের উপর অভিলম্ব হইবে (2ঘ নং চিত্র)।

হার্টলের আলোকচক্র
চিত্র 2ঘ

A ছিদ্র দিয়া AO আলোকরশ্মি চক্রের গা বাহিয়া দর্পণের মধ্যস্থলে আপতিত হইলে OB রেখায় প্রতিফলিত হইবে। দেখা যাইবে, প্রতিফলিত রশ্মিও চক্রের গা বাহিয়া যাইতেছে। সুতরাং আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্ব চক্রের তলে অবস্থিত বলিয়া প্রথম সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইল।

আপতন ও প্রতিফলন কোণ চক্রের স্কেল হইতে সোজাসুজি পাওয়া যাইবে। দেখা যাইবে, ইহারা সমান। চক্রটি সামান্য ঘুরাইলে আপতিত রশ্মি নতুন আপতন কোণ সৃষ্টি করিবে এবং সঙ্গে সঙ্গে প্রতিফলন কোণ পরিবর্তিত হইবে এবং এই অবস্থায় ইহারা পুনরায় সমান হইবে। সুতরাং ইহা দ্বারা দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

(2) **পিন দ্বারা :**

একটি সমতল বোর্ডে একখানি সাদা কাগজ পিন দ্বারা আটকাও এবং পেন্সিল দিয়া XY একটি রেখা টান। একটি পাতলা সমতল দর্পণ M-কে খাড়াভাবে XY রেখার সহিত মিলাইয়া আটকাও। এইবার P ও Q দুইটি পিন এমনভাবে আঁট যেন উহাদের পাদদ্বয় যোগ করিলে PQ সরলরেখা দর্পণকে আনতভাবে (obliquely) O বিন্দুতে স্পর্শ করে। দর্পণের ভিতর দিয়া দেখিলে P ও Q-র প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। বাঁ দিক হইতে তাকাইয়া প্রতিবিম্ব দুটি এক সরলরেখায় থাকে এমনভাবে চোখ রাখিয়া R ও S দুইটি পিন আঁট যেন উহারা P ও Q-র প্রতিবিম্বের সহিত একই

পিনদ্বারা প্রতিফলনের সূত্র প্রমাণ

চিত্র 2৬

সরলরেখায় থাকে (2৬ নং চিত্র)। পিনগুলির অবস্থান পেন্সিল দ্বারা চিহ্নিত কর। এইবার দর্পণ ও পিন সরাইয়া PQ সরলরেখা ও SR সরলরেখা বর্ধিত করিলে উহারা XY রেখার সহিত O বিন্দুতে মিলিত হইবে।

এস্থলে PQ আপতিত রশ্মি ও RS প্রতিফলিত রশ্মি। O বিন্দু হইতে XY রেখার উপর ON লম্ব টানিলে উহা দর্পণের উপর আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব হইবে। উহারা সকলেই কাগজের তলে অবস্থিত বলিয়া প্রথম সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইতেছে।

দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণ করিতে হইলে $\angle PON$ ও $\angle SON$ মাপ। ইহারা যথাক্রমে আপতন ও প্রতিফলন কোণ। দেখিবে এই কোণ দুইটি সমান, অর্থাৎ আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ।

2-6. আলোকরশ্মির প্রত্যাগমন (Reversibility of a ray of light):

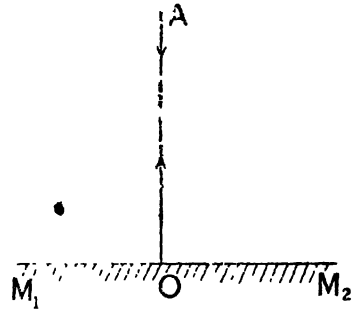
2খ নং চিত্র হইতে আমরা জানিতে পারি যে AO যদি আপতিত রশ্মি হয় এবং OB যদি তাহার প্রতিফলিত রশ্মি হয়, তবে $\angle AON = \angle BON$. এখন যদি কোন রশ্মি BO রেখায় M_1M_2 দর্পণের উপর আপতিত হয় তবে আপতন কোণ = $\angle BON$.

সুতরাং প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী $\angle AON$ প্রতিফলন কোণ হইবে অর্থাৎ রশ্মিকে OA রেখায় প্রতিফলিত হইতে হইবে।

ইহার অর্থ এই যে কোন রশ্মি যদি প্রতিফলিত হইয়া A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে পৌঁছায়, তবে রশ্মি উল্টাপথে প্রতিফলিত হইয়া B বিন্দু হইতে A বিন্দুতে পৌঁছাইবে। ইহাকে আলোকরশ্মির প্রত্যাগমন বলে।

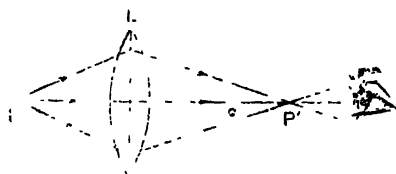
2-7. রশ্মির অভিলম্ব আপতন (Normal incidence of a ray): ধরা যাউক, কোন রশ্মি M_1M_2 দর্পণের উপর লম্বভাবে AO সরলরেখায় আপতিত হইল। এস্থলে আপতন কোণের মান শূন্য, অতএব প্রতিফলনের সূত্র অনুযায়ী প্রতিফলন কোণের মান শূন্য। কাজেই প্রতিফলিত রশ্মি OA পথে প্রত্যাগমন করিবে (2চ নং চিত্র)।

A

M_1 O M_2

রশ্মির অভিলম্ব আপতন

চিত্র 2চ

সুতরাং মনে রাখিবে যে কোন রশ্মি যদি দর্পণের উপর অভিলম্বভাবে আপতিত হয় তবে পুনরায় অভিলম্বভাবে ঐ পথে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া যাইবে।

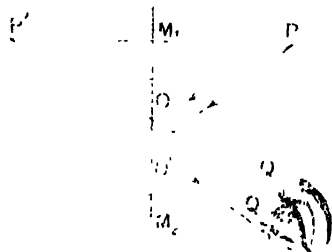
সদ্‌বিম্ব ঃ বিন্দু প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া যদি অন্য কোন বিন্দুতে মিলিত হয় তবে ঐ বিন্দুকে প্রভবের **সদ্‌বিম্ব** (real image) বলা হয়। 2জ (i) নং চিত্রে P বিন্দু-প্রভব হইতে রশ্মিগুচ্ছ L-উত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিসৃত হইয়া P′ বিন্দুতে মিলিত হইতেছে এবং পরে চোখে যাইয়া পড়িতেছে।

সদ্‌বিম্ব
চিত্র 2জ (i)

এস্থলে লেন্সের ভিতর দিয়া P বিন্দুর দিকে তাকাইলে চোখ P′ বিন্দুতে উহার প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে। এই প্রতিবিম্বকে সদ্‌বিম্ব বলা হয়। P′-বিন্দুতে কোন সাদা পর্দা রাখিলে পর্দার উপরে P-এর প্রতিবিম্ব পড়িবে।

অসদ্‌বিম্ব ঃ বিন্দু প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া যদি অন্য কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তখন ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রভবের অসদ্‌বিম্ব (virtual image) বলা হয়।

2জ (ii) নং চিত্রে M_1M_2 সমতল দর্পণের সম্মুখে P একটি বিন্দু প্রভব; P হইতে রশ্মিগুচ্ছ বহির্গত হইয়া দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইতেছে এবং চোখে গিয়া পড়িতেছে। দর্পণের ভিতর দিয়া তাকাইলে মনে হইবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি P′ বিন্দু হইতে আসিতেছে অর্থাৎ, মনে হইবে P বিন্দু P′ বিন্দুতে অবস্থিত। সুতরাং P′ বিন্দু P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। এস্থলে P′ বিন্দুর স্থানে

অসদ্‌বিম্ব
চিত্র 2জ (ii)

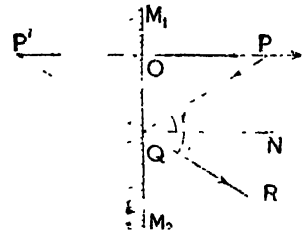
পর্দা রাখিলে পর্দায় কোন প্রতিবিম্ব পড়িবে না। সুতরাং অসদ্‌বিম্ব কেবলমাত্র চোখে দেখা যায়।

সূচী-ছিদ্র ক্যামেরা প্রসঙ্গে বলা হইয়াছে যে ঐ ক্যামেরায় যে প্রতিকৃতি পাওয়া যায় তাহাকে প্রতিবিম্ব বলা চলে না (1-4 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। ইহার কারণ এখন বুঝিতে পারিবে। ঐ ক্যামেরায় যে প্রতিকৃতি হয় তাহা প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত রশ্মির সদ্‌মিলন বা অসদ্‌মিলনে গঠিত হয় না; কাজেই উহাকে প্রতিবিম্ব বলা যাইবে না।

সদ্ ও অসদ্‌বিম্বের পার্থক্য :

(1) কোন বিন্দু হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া যদি এক বিন্দুতে মিলিত হয় তবেই সদ্‌বিম্ব সৃষ্টি হয় কিন্তু যদি তাহারা এক বিন্দুতে মিলিত না হইয়া কোন এক বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তবে অসদ্‌বিম্বের সৃষ্টি হয়।

(2) সদ্‌বিম্ব চোখে দেখা যায় এবং পর্দাতেও ফেলা যায়। কিন্তু অসদ্‌বিম্ব শুধু চোখে দেখা যায়, পর্দাতে ফেলা যায় না।

2-10. সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব :

M_1M_2 একটি সমতল দর্পণ ও P উহার সম্মুখে অবস্থিত একটি বিন্দু-প্রভব। P হইতে PO রশ্মি দর্পণে অভিলম্বরূপে আপতিত হইয়া পুনরায় OP পথে অভিলম্বভাবে প্রতিফলিত হইয়া প্রত্যাবর্তন করিল। আর একটি রশ্মি PQ প্রতিফলিত হইয়া QR পথে গমন করিল। সুতরাং $\angle PQN = \angle RQN$ (2নং চিত্র)। OP ও QR এই দুইটি প্রতিফলিত রশ্মি পিছনে বর্ধিত করিলে P' বিন্দুতে মেলে।

সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব

চিত্র 2।

অর্থাৎ, মনে হইবে প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় P' বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং P' বিন্দু P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব।

এখন, $\angle PQN = \angle OPQ$ (যেহেতু QN ও OP সমান্তরাল)

আবার একই কারণে $\angle NQR = \angle OP'Q$

সুতরাং, $\angle OPQ = \angle OP'Q$ [কারণ $\angle PQN = \angle NQR$]

এবার, $\triangle^s$ QOP ও QOP' লও। ইহাদের মধ্যে

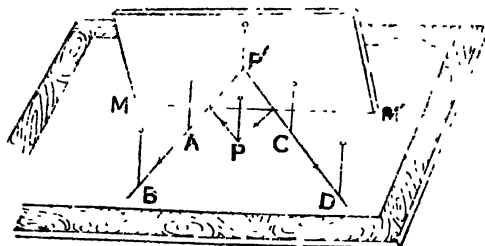
$$\angle OPQ = \angle OP'Q$$

$$\angle QOP = \angle QOP' \qquad [\because \text{ উভয়েই } 90^\circ]$$

এবং QO দুই ত্রিভুজেরই বাহু।

$\therefore$ ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম। সুতরাং, $OP = OP'$

অর্থাৎ, প্রভব-P দর্পণের যতটা সম্মুখে প্রতিবিম্ব P' দর্পণ হইতে ততটা পিছনে এবং PP' সরলরেখা দর্পণকে লম্বভাবে ছেদ করে।

A, B, C এবং D পিনগুলির অবস্থান চিহ্নিত করিয়া দর্পণসহ উহাদের সরাইয়া ফেলা হইল। AB এবং CD সরলরেখাদ্বয়কে পিছনে প্রসারিত

পিন দ্বারা প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়

চিত্র 2৬

করিলে তাহারা P′ বিন্দুতে মিলিত হইবে। উহাই হইবে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব।

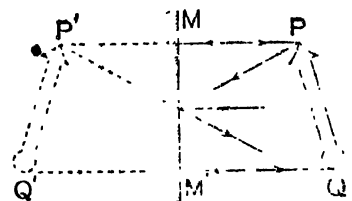
PP′ সরলরেখা অঙ্কিত করিলে উহা MM′ সরলরেখাকে লম্বভাবে ছেদ করিবে এবং MM′ সরলরেখা হইতে P বিন্দুর দূরত্ব ঐ সরলরেখা হইতে P′ বিন্দুর দূরত্বের সমান হইবে।

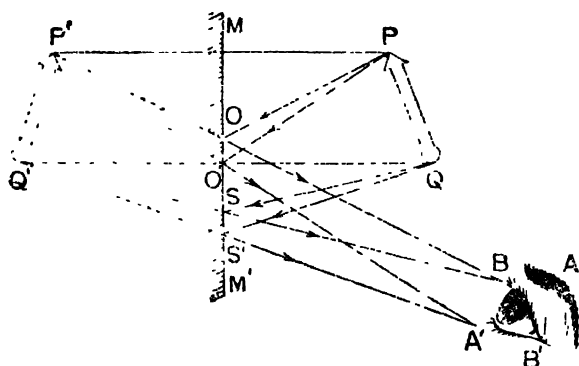
2-13 **বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব** (Image of an extended object)।

MM′ দর্পণের সম্মুখে PQ একটি বিস্তৃত বস্তু (২৭ নং চিত্র)। আগেই বলা হইয়াছে যে **বিস্তৃত বস্তুকে অসংখ্য বিন্দুপ্রভবের সমষ্টি ধরা যাইতে পারে**। সুতরাং বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব নির্ণয় করিতে হইলে প্রত্যেক বিন্দুপ্রভবের প্রতিবিম্ব নির্ণয় করিয়া উহাদের সমষ্টি নির্ণয় করিলেই ঐ প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে।

PQ বস্তুর P বিন্দু হইতে দর্পণের উপর লম্ব টানিয়া উহাকে পিছনের দিকে সমান দূরে P′ বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত করিলে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু Q হইতে MM′ রেখার উপর লম্ব টানিয়া সমদূরে Q′ পর্যন্ত প্রসারিত করিলে Q বিন্দুর প্রতিবিম্ব মিলিবে। P এবং Q-এর মধ্যবর্তী বিন্দুপ্রভবের প্রতিবিম্ব P′ এবং Q′-এর মধ্যে থাকিবে। সুতরাং P′Q′ হইল PQ বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব (2৭ নং চিত্র)।

বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব

চিত্র 2৭

আলোকরশ্মির প্রতিফলনের দ্বারা উক্ত PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব দর্শক কিরূপে দেখিবে তাহা 2দ নং চিত্রে দেখানো হইল।

P বিন্দু হইতে PO এবং PO′ রশ্মিগুচ্ছ দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া চোখে এমনভাবে পৌঁছায় যে মনে হইবে P বিন্দু P′ বিন্দুতে অবস্থান করিতেছে অর্থাৎ P′ বিন্দু হইতেছে P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। তেমনি সর্বনিম্ন Q বিন্দু হইতে QS ও QS′ রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত হইবার পর মনে হইবে রশ্মিগুলি Q′ বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং চোখ Q বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব Q′ বিন্দুতে দেখিবে। এইভাবে PQ বস্তুর প্রত্যেক বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছ

আলোকরশ্মির প্রতিফলনে বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব

চিত্র 2দ

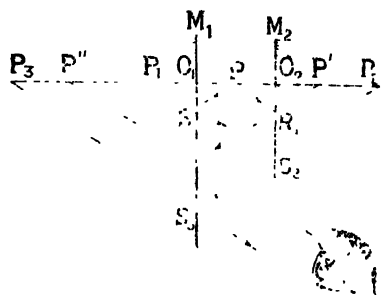
প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইবে এবং পূর্ণ প্রতিবিম্ব P′Q′ সৃষ্টি করিবে।

উপরোক্ত ক্ষেত্রে একটি বিষয় লক্ষ্য করিবার আছে। PQ বস্তু ও চোখের অবস্থানের উপর নির্ভর করিয়া দর্পণের যে-অংশ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিতে কার্যকর হইয়াছে তাহা হইল O হইতে S′ পর্যন্ত। সুতরাং উক্ত দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণ হইলেই প্রতিবিম্ব দেখা চলিবে। অবশ্য, চোখ বা বস্তু সরাইয়া লইলে দর্পণের কার্যকর অংশেরও পরিবর্তন হইবে।

2-14. দুই দর্পণে পর পর প্রতিফলন (Multiple reflection at two mirrors):

(ক) দুইটি সমান্তরাল দর্পণ (Two parallel mirrors) :

দুইটি দর্পণকে সমান্তরাল রাখিয়া উহাদের মধ্যবর্তী স্থানে দাঁড়াইয়া যে-কোন একটি দর্পণের দিকে তাকাইলে মুখের অসংখ্য প্রতিবিম্ব দেখা যায়, তাহা বোধ হয় তোমরা লক্ষ্য করিয়া থাকিবে। কিরূপে এই অসংখ্য প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয় নিম্নে তাহা বুঝান হইল।

M_1 এবং M_2 দুইটি সমান্তরালভাবে রক্ষিত সমতল দর্পণ এবং P উহাদের মধ্যবর্তী স্থানে একটি আলোক বিন্দু। P বিন্দু হইতে M_1 M_2 দর্পণদ্বয়ের উপর লম্ব টানা হইল এবং উহাকে দুই পাশে বর্ধিত করা হইল। এই লম্ব M_1 ও M_2 দর্পণকে যথাক্রমে O_1 এবং O_2 বিন্দুতে ছেদ করিল (2ন নং চিত্র)। প্রথমে M_1 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলন আলোচনা করা যাউক। উক্ত লম্বের উপর P_1 এমন একটি বিন্দু লও যাহাতে $O_1P_1 = O_1P$. এখন P বিন্দু হইতে আলোকগুচ্ছ M_1 কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া মনে হইবে যেন P_1 বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে। অতএব P_1 বিন্দু M_1 দর্পণকর্তৃক সৃষ্ট P বিন্দুর অসদ্বিম্ব। কিন্তু রশ্মি যেমন S_1S_2, দ্বিতীয় দর্পণ M_2 কর্তৃক পুনরায় প্রতিফলিত হইবে এবং যদি P_2 এমন বিন্দু লওয়া হয় যাহাতে $O_2P_1 = O_2P_2$ তবে মনে হইবে যেন উহারা P_2 বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে, অর্থাৎ M_2 দর্পণ P_1 বিন্দুর অসদ্বিম্ব P_2 বিন্দুতে সৃষ্টি করিবে। যেহেতু P_2 বিন্দু আবার M_1 দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত সেইহেতু ঠিক একইভাবে M_1 দর্পণ P_2 বিন্দুর অসদ্বিম্ব P_3 বিন্দুতে সৃষ্টি করিবে। এক্ষেত্রে P_3 বিন্দু এমন হইবে যে $O_1P_3 = O_1P_2$. এইরূপে ক্রমাগত প্রতিফলনের ফলে P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি প্রতিবিম্বগুলি সৃষ্টি হইবে।

সমান্তরাল দর্পণদ্বয় কর্তৃক বহু প্রতিবিম্ব গঠন

চিত্র 2ন

এইবার M_2 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলন আলোচনা করা যাউক। M_2 দর্পণও M_1 দর্পণের ন্যায় প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিবে। ইহার প্রথম প্রতিবিম্ব P' বিন্দু হইতে

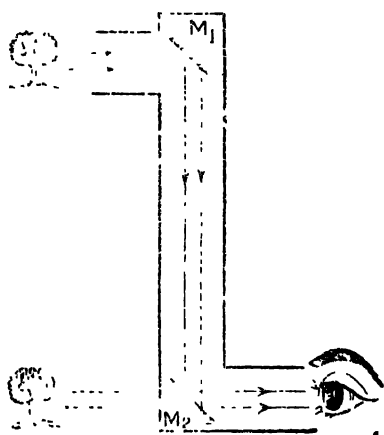
$O_2P = O_2P'$. P' বিন্দু এবার M_1 দর্পণের সম্মুখে থাকায় P'' বিন্দুতে ইহার প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হইবে এবং $O_1P' = O_1P''$, ইত্যাদি। এইভাবে P', P'', P''' প্রভৃতি বহু প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হইবে।

সুতরাং সমান্তরাল দর্পণদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত কোন আলোক-বিন্দুর অঙ্কের হিসাবে অসংখ্য (infinite) প্রতিবিম্ব থাকিবে কিন্তু প্রত্যেক প্রতিফলনে দর্পণদ্বয় কিছু আলো শোষণ করে বলিয়া কার্যত কিছু সংখ্যক প্রতিবিম্বের পর ইহা অস্পষ্ট হইয়া পড়ে এবং আর দেখা যায় না।

সমান্তরাল দর্পণদ্বয়ের ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ

(1) **সরল পেরিস্কোপ** (Simple periscope):

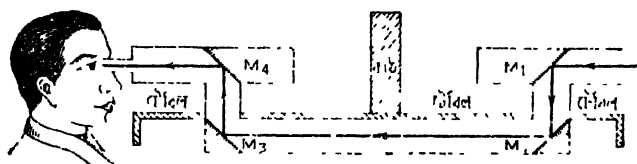
উপরোক্ত সমান্তরাল দর্পণদ্বয়ের নীতি অবলম্বন করিয়া সরল পেরিস্কোপ তৈয়ারী হয়। 2ন নং চিত্রে উহার একটি নক্শা দেখানো হইল।

M_1 এবং M_2 দুইটি সমতল দর্পণ সমান্তরালভাবে একটি কাঠের ফ্রেমে বা ধাতব নলে আটকানো। দর্পণদ্বয়কে সমান্তরাল রাখিয়া এদিক-ওদিক ঘুরাইবার ব্যবস্থা আছে। ফ্রেমটিকে খাড়া অবস্থায় রাখিয়া নীচের দর্পণের দিকে তাকাইলে বহুদূরের জিনিস দেখা যাইবে। সাধারণত কোন দূরের জিনিস সোজাসুজি দেখিতে বাধা থাকিলে এই যন্ত্রের সাহায্যে তাহা দেখা যায়। দূরাগত আলোকরশ্মি M_1 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া নলের অক্ষ (axis) বরাবর আসিয়া M_2 দর্পণে পড়িবে এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া অনুভূমিকভাবে মানুষের চোখে পৌঁছাইবে। সুতরাং দূরের জিনিস সোজাসুজি না দেখিতে পাইলেও এইভাবে দেখা যাইবে।

সরল পেরিস্কোপ
চিত্র 2ন

গড়ের মাঠে বহু লোক এই ধরনের পেরিস্কোপ লইয়া ভীড়ের উপর দিয়া খেলা দেখে। যুদ্ধের সময় পরিখার ভিতর লুকাইয়া বিপক্ষ সৈন্যদের কার্যকলাপ এই পেরিস্কোপের সাহায্যে দেখা যায়। ডুবোজাহাজে ইহা অপেক্ষা উন্নত ধরনের পেরিস্কোপ ব্যবহৃত হয়।

(ii) মজার খেলা ; কাঠের ভিতর দিয়া দেখা :

সমান্তরাল দর্পণ দিয়া তোমরা একটি মজার খেলা করিতে পার। নীচে এই খেলার আবশ্যকীয় ব্যবস্থা বর্ণনা করা হইল [2ন (i) নং চিত্র]।

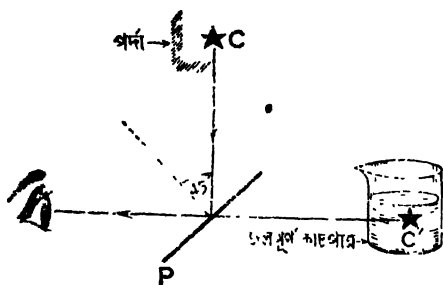
M_1 এবং M_2 দুইটি সমান্তরাল দর্পণ—আবার M_3 এবং M_4 আর দুইটি সমান্তরাল দর্পণ। M_1 এবং M_4 একটি টেবিলের উপরে রক্ষিত এবং M_3 এবং M_2 টেবিলের নীচে আটকানো। টেবিলের উপর দুটি ছিদ্র থাকিবে যাহাতে M_1 দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত রশ্মি ছিদ্রপথে M_2 দর্পণে পড়িতে পারে এবং M_3 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত রশ্মি দ্বিতীয় ছিদ্রপথে M_4 দর্পণে পড়ে। M_1 এবং M_4 দর্পণদ্বয়কে দুইটি নলের মধ্যে বসাইয়া একই সরল রেখায় রাখিতে পারিলে আরো ভাল হয়। M_1 এবং M_4 দর্পণ দুইটির মাঝখানে একখানা কাঠ বা কোন অস্বচ্ছ বস্তু রাখ। M_4 দর্পণের পিছনে চোখ রাখিলে কাঠের অন্যপার্শ্বে অবস্থিত বস্তু দেখা যাইবে। যে-ব্যক্তি টেবিলের তলায় দর্পণদ্বয়ের অবস্থান সম্বন্ধে কিছু জানে না তাহার মনে হইবে কাঠের ভিতর দিয়া জিনিস দেখিতেছে। কিন্তু আসল ব্যাপার কি হইতেছে? দূরের কোন জিনিস হইতে

কাঠের ভিতর দিয়া দেখা

চিত্র 2ন (i)

আলোকরশ্মি M_1 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া টেবিলের ছিদ্র দিয়া M_2 দর্পণে পড়িতেছে। ঐ রশ্মি টেবিলের সমান্তরালভাবে গিয়া M_3 কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় ছিদ্র দিয়া M_4 দর্পণে পড়িতেছে এবং পরে দর্শকের চোখে পৌঁছাইতেছে।

(iii) জলের মধ্যে মোমবাতি জ্বলা (Candle burning in water) :

এই মজার খেলাটি দেখাইতে হইলে একটি পরিষ্কার কাচের প্লেট এবং জলপূর্ণ একটি কাচের পাত্র লইতে হইবে।

P হইল কাচের প্লেট। ইহাকে এমনভাবে রাখা হইয়াছে যে একটি জলন্ত মোমবাতি C হইতে আলোকরশ্মি উহার উপরে 45° কোণে আপতিত হয় [2ন (ii) নং চিত্র]। কাচের প্লেট রশ্মিকে আংশিকভাবে প্রতিফলিত করিবে এবং রশ্মিটি মোট 90° ঘুরিয়া মানুষের চোখে পৌঁছাইবে। কিন্তু চোখ দেখিবে যেন মোম বাতিটি C′ বিন্দুতে আছে। C′ হইবে C বিন্দুর প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব। প্রতিবিম্বের

জলের মধ্যে মোমবাতি জ্বলা
চিত্র 2ন (ii)

স্থানে একটি জলপূর্ণ কাচপাত্র রাখিয়া দিলে কাচের প্লেটের ভিতর দিয়া পাত্রটিকেও দেখা যাইবে এবং দর্শক মনে করিবে যেন জলের ভিতর মোমবাতি জ্বলিতেছে। খেলাটিকে চিত্তাকর্ষক করিতে হইলে C মোমবাতিটিকে একটি অস্বচ্ছ পর্দা দ্বারা এমনভাবে ঢাকিতে হইবে যেন মোমবাতি হইতে সরাসরি আলোকরশ্মি মানুষের চোখে না পৌঁছায় কিন্তু P-প্লেটের উপর যেন পড়িতে পারে। ফলে দর্শক মোমবাতিটিকে দেখিবে না কিন্তু জলের ভিতর উহার প্রতিবিম্ব দেখিবে।

(খ) **সমকোণে আনত দুইটি দর্পণ** (Two mirrors at right angles to each other) :

M_1 এবং M_2 দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের সহিত লম্বভাবে রক্ষিত অর্থাৎ $\angle M_1OM_2$ একটি সমকোণ। P একটি আলোকবিন্দু (2প নং চিত্র)।

M_1O দর্পণের উপর PAP_1 লম্ব টানিয়া যদি $P_1A = PA$ করা হয় তবে P_1 হবে M_1O দর্পণকর্তৃক P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। আবার P_1 বিন্দু M_2O

সমকোণে আনত দুইটি দর্পণ কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন
চিত্র 2প

দর্পণের সম্মুখে পড়াতে উহার একটি প্রতিবিম্ব হইবে। এই প্রতিবিম্বের অবস্থান পাইতে গেলে M_2O রেখা বর্ধিত করিয়া উহার উপর P_1CP_2 লম্ব টান যাহাতে $P_1C=P_2C$ হয়। তাহা হইলে P_2 বিন্দু হইবে P_1 বিন্দুর প্রতিবিম্ব। চোখকে এই প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে আলোক-রশ্মির কিরূপ প্রতিফলন হওয়া প্রয়োজন তাহা 2প নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে, এখন P_2 বিন্দু উভয় দর্পণের পিছনে পড়াতে ইহার আর কোন প্রতিবিম্ব হইবে না।

কিন্তু P বিন্দু OM_2 দর্পণের সম্মুখে বলিয়া P বিন্দুতে উহার একটি প্রতিবিম্ব হইবে এবং $PB=BP'$. আবার P' বিন্দু M_1O দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বলিয়া উহারও একটি বিম্ব সৃষ্টি হইবে। এই বিম্বের অবস্থিতি নির্ণয় করিতে গেলে M_1O রেখা বর্ধিত করিয়া উহার উপর $P'D$ লম্ব টান এবং $P'D$-এর সমান করিয়া $P''D$ পর্যন্ত উহাকে প্রসারিত কর। P'' হইবে P' বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এবার ইহা উভয় দর্পণের পিছনে পড়াতে উহার আর কোন বিম্ব হইবে না। সরল জ্যামিতির দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে P_2 ও P'' বিন্দুদ্বয় একই।

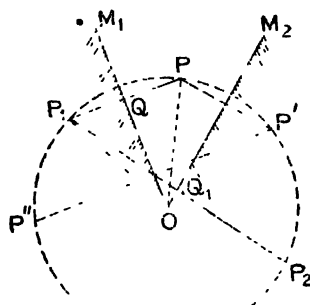
সুতরাং সমকোণে রক্ষিত দর্পণদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত P বিন্দুর তিনটি প্রতিবিম্ব (P_1, P' এবং P_2 অথবা P'') পাওয়া যাইবে। এই প্রতিবিম্বগুলি মূল বিন্দু সহ একটি বৃত্তের উপর অবস্থিত থাকিবে যাহার কেন্দ্র হইবে O বিন্দু এবং ব্যাসার্ধ হইবে OP.

(গ) **যে-কোন কোণে অবস্থিত দুইটি দর্পণ** (Two mirrors inclined at any angle):

যে কোন কোণে আনত দুইটি দর্পণ কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন

চিত্র 2ফ

M_1 এবং M_2 দুইটি দর্পণ M_1OM_2 কোণে অবস্থিত। P উহাদের মধ্যে অবস্থিত একটি আলোকবিন্দু (2ফ নং চিত্র)।

P বিন্দু হইতে M_1O রেখার উপর PQ লম্ব টান এবং উহাকে P_1 পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে $PQ=P_1Q$ হয়। অতএব P_1 হইবে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। আবার P_1 বিন্দু M_2O দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া একটি প্রতিবিম্ব P_2 সৃষ্টি করিবে যদি $P_1Q_1P_2$ রেখা M_2O রেখার উপর লম্ব হয় এবং $P_1Q_1=P_2Q_1$

হয়। এইভাবে যতক্ষণ না প্রতিবিম্ব উভয় দর্পণের পিছনে পড়ে ততক্ষণ বার বার প্রতিফলনের জন্য প্রতিবিম্বরাশি সৃষ্টি হইবে।

আবার M_2O দর্পণকর্তৃক P বিন্দুর প্রতিফলন বিবেচনা করিলে উপরোক্তভাবে P', P'' প্রভৃতি প্রতিবিম্বরাশি সৃষ্টি হইবে।

এইবার, POQ এবং P_1OQ ত্রিভুজ দুইটি লও।

$$PQ = P_1Q$$

$$\angle OQP = \angle OQP_1 \quad \text{[প্রত্যেকে 1 সমকোণ]}$$

QO সাধারণ বাহু।

সুতরাং, ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম। কাজেই $PO = P_1O$

ঠিক এই ভাবে প্রমাণ করা যাইতে পারে যে $P_1O = P_2O = P'O = P''O$ ইত্যাদি।

অর্থাৎ, প্রতিবিম্বগুলি মূলবিন্দু P-সহ একটি বৃত্তের উপর অবস্থিত থাকিবে যাহার কেন্দ্র হইল O বিন্দু ও ব্যাসার্ধ হইল OP.

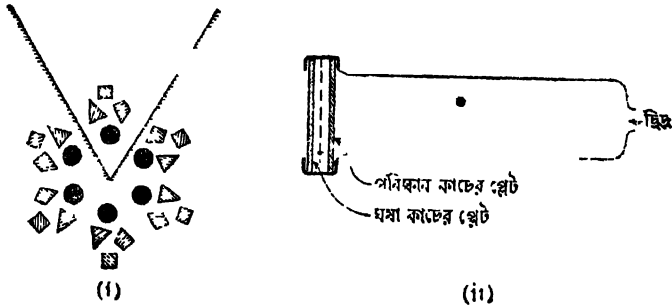
যদি $\angle M_1OM_2 = \theta$ হয়, তবে প্রমাণ করা যায় প্রতিবিম্বের সংখ্যা $n = \left(\frac{360}{\theta} - 1\right)$ অর্থাৎ, যদি ধরা যায় যে দর্পণদ্বয় 60° কোণ করিয়া অবস্থান করিতেছে তবে উহাদের মধ্যে অবস্থিত কোন আলোক-বিন্দুর প্রতিবিম্বের সংখ্যা $n = \left(\frac{360}{60} - 1\right) = 5$

কার্যকর প্রয়োগ :

ক্যালিডোস্কোপ (The kaleidoscope) : ইহা ছোট ছেলেমেয়েদের একটি খেলনা। যে-কোন কোণে অবস্থিত দুইটি দর্পণ যেভাবে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে সেই নীতিকে এই যন্ত্রে প্রয়োগ করা হইয়াছে।

একটি নলের ভিতর তিনখানি সমতল দর্পণের পাত পরস্পরের সহিত 60° কোণ করিয়া বসানো। নলের একপ্রান্ত একখানি শক্ত কার্ডবোর্ডের টুকরা দ্বারা বন্ধ করা এবং ইহার মাঝখানে একটি ছিদ্র আছে। নলের অপর প্রান্ত একখানি ঘষা কাচ দ্বারা বন্ধ করা থাকে। এই ঘষা কাচের উপর এবং দর্পণ তিনটির ভিতর কয়েক টুকরা বিভিন্ন রং-এর কাচখণ্ড রাখা হয় এবং তারপর একখানি পরিষ্কার কাচের প্লেট রাখা হয় [2ভ (ii) নং চিত্র]। যখন কোন ব্যক্তি কার্ডবোর্ডের ছিদ্র দিয়া তাকায় তখন সে দর্পণগুলি কর্তৃক বিভিন্ন রংয়ের

কাচের টুকরার প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়। প্রত্যেক জোড়া দর্পণ 60° কোণে অবস্থিত বলিয়া পাঁচটি প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করিবে এবং সব প্রতিবিম্ব মিলিয়া

চিত্র 2ঙ

একটি সুন্দর নক্শা (pattern) তৈয়ারী হইবে [2ঙ (i) নং চিত্র]। নলটি আস্তে আস্তে ঘুরাইলে কাচখণ্ডগুলির অবস্থানের সঙ্গে সঙ্গে পরিবর্তন হইবে এবং তাহার ফলে নতুন নতুন নক্শা দেখা যাইবে।

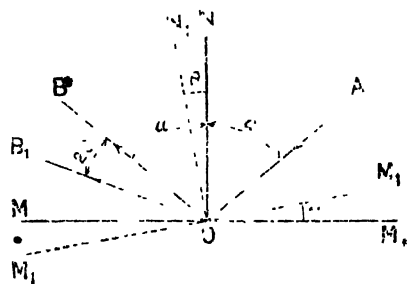
2-15. ঘূর্ণমান দর্পণ (Rotating mirror):

আপতিত রশ্মির কোন দিক পরিবর্তন না করিয়া দর্পণকে θ কোণে ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি 2θ কোণ ঘুরিবে। ইহাই হইল ঘূর্ণমান দর্পণের নীতি।

ধরা যাউক, MM হইল দর্পণের প্রথম অবস্থান (2ম নং চিত্র)। AO আপতিত রশ্মি ও OB প্রতিফলিত রশ্মি। ON হইল আপতন বিন্দু O হইতে MM রেখার উপর অভিলম্ব।

এখানে $\angle AON = \angle BON$ (প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী)। ধরা যাউক, উভয়েই α. সুতরাং $\angle AOB = 2\alpha$.

এবার দর্পণ θ কোণ ঘুরিয়া M_1M_1 রেখায় অবস্থান করিল। সুতরাং অভিলম্বও θ কোণ ঘুরিবে। ধর, অভিলম্ব ON_1 রেখায় অবস্থান করিল।

চিত্র 2ম

এই অবস্থাতে ধরা যাউক, OB_1 প্রতিফলিত রশ্মি। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মি যে-কোণ ঘুরিল তাহা হইল $\angle BOB_1$. প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী,

$$\angle AON_1 = \angle B_1ON_1$$

কিন্তু $\angle AON_1 = \alpha + \theta$

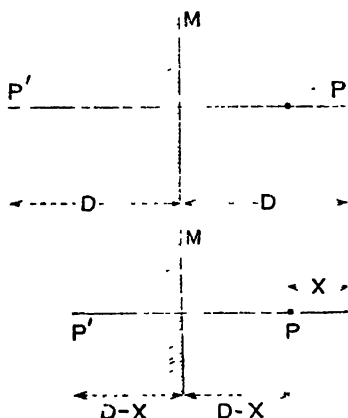
সুতরাং $\angle AOB_1 = 2(\alpha + \theta)$

$$\therefore \angle BOB_1 = \angle AOB_1 - \angle AOB = 2(\alpha + \theta) - 2\alpha = 2\theta$$

সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মি যে-কোণ ঘুরিল ($\angle BOB_1$) তাহা 2θ.

2-16. সমতল দর্পণ-সংক্রান্ত কয়েকটি সম্পাদ্য :

(1) যদি কোন বস্তু দর্পণের দিকে অথবা দর্পণ হইতে দূরে সরিয়া যায় তবে উহার প্রতিবিম্বও অনুরূপভাবে সমান দূরে সরিবে :

ধরা যাউক, P বিন্দু দর্পণ M হইতে D দূরে অবস্থিত (2য় নং চিত্র)। উহার প্রতিবিম্ব P' বিন্দুও দর্পণ হইতে D দূরে থাকিবে। এখন P বিন্দু যদি দর্পণের দিকে X সরিয়া আসে তবে উহার বর্তমান দূরত্ব হইবে (D − X).

চিত্র 2য়

∴ সুতরাং উহার প্রতিবিম্বের দূরত্বও হইবে (D − X)। পূর্বে প্রতিবিম্বের দূরত্ব ছিল D. অতএব প্রতিবিম্ব দর্পণের দিকে D − (D − X) অর্থাৎ X সরিয়া গেল।

(2) যদি দর্পণ কোন বস্তুর দিকে অথবা বস্তু হইতে দূরে সরিয়া যায় তবে বস্তুর প্রতিবিম্ব অনুরূপভাবে উহার দ্বিগুণ সরিবে।

ধরা যাউক, P বিন্দু M দর্পণ হইতে D দূরে অবস্থিত। উহার প্রতিবিম্ব P' বিন্দুও দর্পণের পশ্চাতে D দূরে থাকিবে [পর পৃষ্ঠায় 2র (i) নং চিত্র]।

এখন যদি দর্পণ P বিন্দুর দিকে X সরিয়া যায় তবে P বিন্দুর বর্তমান দূরত্ব $= D - X$ [পর পৃষ্ঠায় 2র (ii) নং চিত্র]।

সুতরাং প্রতিবিম্ব P′ দর্পণের পশ্চাতে $(D-X)$ দূরে থাকিবে।

পূর্বে বস্তু ও প্রতিবিম্বের ভিতর দূরত্ব $=2D$.

চিত্র 2ব

এখন বস্তু ও প্রতিবিম্বের ভিতর দূরত্ব $=2(D-X)$। যেহেতু বস্তু স্থির কাজেই প্রতিবিম্বের সরণ

$=2D-2(D-X)=2X.$

অতএব, দর্পণ বস্তুর দিকে X সরিলে বস্তুর প্রতিবিম্ব 2X সরিবে।

(3) **দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের ভিতর একটি নির্দিষ্ট কোণে অবস্থান করে। একটি রশ্মি প্রথম দর্পণের সমান্তরাল-ভাবে গিয়া দ্বিতীয় দর্পণে পড়িল এবং প্রতিফলিত হইয়া প্রথম দর্পণে আপতিত হইল এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় দর্পণের সমান্তরাল ভাবে বাহির হইল। দর্পণ দুইটির ভিতরে কোণ নির্ণয় কর।**

ধরা যাউক, M_1 ও M_2 দর্পণ দুইটি পরস্পরের ভিতর M_1OM কোণ করিয়া আছে। AB একটি রশ্মি M_1-দর্পণের সমান্তরালভাবে গিয়া M_2 দর্পণে B বিন্দুতে আপতিত হইল। ঐ রশ্মি BC পথে প্রতিফলিত হইয়া M_1 দর্পণে পড়িল এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া M_2 দর্পণের সমান্তরালভাবে CD পথে নির্গত হইল (2ল নং চিত্র)।

চিত্র 2ল

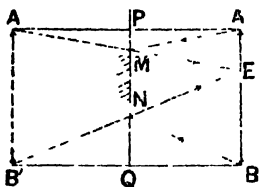
যেহেতু AB এবং M_1O সমান্তরাল এবং OM_2 উহাদের ছেদ করে, সেইহেতু $\angle ABM_2 = M_1OM_2 = \theta$ (ধর)।

আবার, CD এবং M_2O সমান্তরাল এবং M_1O উহাদের ছেদ করে বলিয়া $\angle M_1CD = \angle M_1OM_2 = \theta$.

আবার, AB আপতিত রশ্মি ও BC প্রতিফলিত রশ্মি হওয়াতে $\angle ABM_2 = \angle CBO = \theta$, একই কারণে $\angle M_1CD = \angle BCO = \theta$.

. অর্থাৎ, $\triangle OBC$-তে তিনটি কোণ পরস্পরের সমান। কাজেই $\angle M_1OM_2 = 60°$.

(4) প্রমাণ কর যে নিজ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণে কোন ব্যক্তি তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে।

ধর, AB মানুষের দৈর্ঘ্য এবং E তাহার চক্ষু (2শ নং চিত্র)। PQ মানুষের সম্মুখে অবস্থিত দর্পণ। A হইতে PQ রেখার উপর লম্ব টানিয়া উহাকে A′ পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে AP=A′P হয়। সুতরাং A′ হইবে A বিন্দুর প্রতিবিম্ব। A′ ও E যোগ কর এবং মনে কর উহা দর্পণকে M বিন্দুতে ছেদ করিল। রশ্মি A হইতে নির্গত হইয়া দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইলে মনে হইবে A বিন্দু A′ বিন্দুতে অবস্থান করিতেছে। অর্থাৎ দর্পণ M বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত হইলেই A′ প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু Bকে দেখিতে হইলে দর্পণ N বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত হওয়া দরকার। সুতরাং নিজ দেহের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে MN দৈর্ঘ্যের দর্পণ প্রয়োজন।

চিত্র 2শ

AA′E ত্রিভুজে P বিন্দু AA′ রেখার মধ্যবিন্দু হওয়াতে এবং PM রেখা AE রেখার সমান্তরাল বলিয়া M বিন্দু A′E রেখার মধ্যবিন্দু।

অনুরূপ কারণে N বিন্দু B′E রেখার মধ্য-বিন্দু প্রমাণ করা যায়। সুতরাং EA′B′ ত্রিভুজের দুই বাহুর মধ্যবিন্দু M ও N হওয়াতে MN রেখা A′B′ রেখার অর্ধেক। অর্থাৎ, দর্পণের কার্যকর অংশ (MN) মানুষের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হওয়া প্রয়োজন।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, দর্পণের সম্মুখে মানুষ কোথায় দাঁড়াইবে এ প্রশ্ন এখানে উঠে না। অর্থাৎ মানুষ দর্পণের সম্মুখে যেখানেই দাঁড়াইবে সেখান হইতে সে উক্ত দৈর্ঘ্যের দর্পণের মধ্য দিয়া নিজ আকৃতির পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিবে।

(5) একটি ঘরের দেওয়ালে একখানি দর্পণ টাঙ্গানো আছে এবং ঘরের মধ্যস্থলে একজন লোক দাঁড়াইয়া আছে। দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইলে লোকটি তাহার পিছনের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।

ধর, AB এবং CD হইল দুই দেওয়াল এবং ঘরের মাঝখানে দণ্ডায়মান EF হইল লোকটি। E লোকটির চক্ষু (চিত্র 2ঘ)। AC দৈর্ঘ্যের সমান করিয়া CA′ টান এবং BD দৈর্ঘ্যের সমান করিয়া DB′ টান। স্পষ্টতঃ A′B′ হইবে AB দেওয়ালের প্রতিবিম্ব। দর্শককে এই প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইবে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।

চিত্র 2ঘ

A′ এবং B′ এর সহিত E যুক্ত কর এবং মনে কর উহারা CD দেওয়ালকে M এবং N বিন্দুতে ছেদ করিল। MN হইবে দর্পণের প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্য; কারণ A বিন্দু হইতে আলোক-রশ্মি M বিন্দু কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইলে চোখ A′ প্রতিবিম্ব দেখিবে। আবার, B বিন্দু হইতে অনুরূপভাবে আলোকরশ্মি N বিন্দু কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইলে চোখ B′ প্রতিবিম্ব দেখিবে। সুতরাং দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে MN হইলে চোখ পূর্ণ প্রতিবিম্ব A′B′ দেখিতে পাইবে।

এখন, $FD = FB$ এবং $B'D = DB$

$\therefore \quad DF = \frac{1}{3} BF$

যেহেতু, DN এবং FE সমান্তরাল এবং $DF = \frac{1}{3}B'F$

কাজেই, $NE = \frac{1}{3}B'E$

একই কারণে, $ME = \frac{1}{3}A'E$

এখন, A′EB′ এবং MNE ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

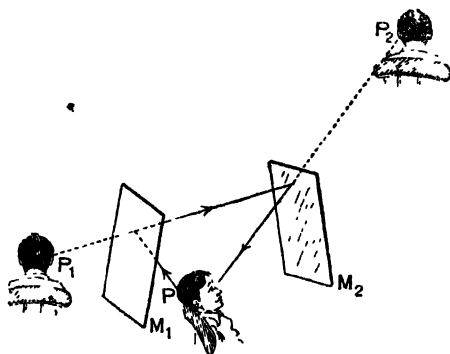
অতএব $\frac{MN}{A'B'} = \frac{ME}{A'E} = \frac{NE}{B'E} = \frac{1}{3}$

$\therefore \quad MN = \frac{1}{3}A'B' = \frac{1}{3}AB.$

অর্থাৎ দর্পণের ন্যূনতম দৈর্ঘ্য $= \frac{1}{3} \times$ দেওয়ালের উচ্চতা।

(6) দুইটি দর্পণের সাহায্যে মাথার পশ্চাদ্‌ভাগ দেখা :

M_1 এবং M_2 দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের সহিত একটি আনত ভাবে রাখিয়া উহাদের মধ্যে দর্শক অবস্থান করিলে দর্শক তাহার মাথার পশ্চাদ্‌ভাগ দেখিতে পাইবে। এক্ষেত্রে M_1 দর্পণ দর্শকের মাথার পশ্চাদ্‌ভাগের প্রতিবিম্ব

P_1 গঠন করিবে এবং তাহার আবার আর একটি প্রতিবিম্ব P_2 গঠন করিবে M_2 দর্পণ। দর্শক M_2 দর্পণে ঐ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে (2স নং চিত্র)।

চিত্র 2স

সেলুনে চুল কাটিবার সময় সামনে-পিছনে দুইটি আয়না রাখিয়া মাথার পশ্চাদ্ভাগ দেখানো হয়, ইহা হয়ত তোমরা লক্ষ্য করিয়াছ।

2-17. পার্শ্বীয় পরিবর্তন (Lateral inversion) :

আয়নার সামনে দাঁড়াইলে আমাদের বাম হাত ডান হাত বলিয়া এবং ডান হাত বাম হাত বলিয়া মনে হয়। একটি কাগজে 'R' কথাটি লিখিয়া আয়নার সামনে ধর (2হ নং চিত্র)। দেখিবে প্রতিবিম্ব উল্টাইয়া গিয়াছে। প্রতিবিম্বের এই পরিবর্তনকে পার্শ্বীয় পরিবর্তন বলা হয়। প্রতিসম (symmetrical) বস্তুর প্রতিবিম্বে এইভাবের কোন পরিবর্তন দেখা যায় না।

প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় পরিবর্তন
চিত্র 2হ

পার্শ্বীয় পরিবর্তনের কারণ এই যে, আয়না হইতে বস্তুর দূরত্ব উহার প্রতিবিম্বের দূরত্বের সমান। প্রতিবিম্বের পার্শ্ব পরিবর্তন হইলেও প্রতিবিম্বের আকার একই থাকে।

কাগজে কিছু লিখিয়া ব্লটিং কাগজে চাপিলে ব্লটিং কাগজে উল্টা ছাপ পড়ে। এইবার ব্লটিং কাগজকে আয়নার সম্মুখে ধরিলে উল্টা লেখা পার্শ্বীয় পরিবর্তনের ফলে সোজা দেখা যাইবে।

সারাংশ

আলোক কোন সমসত্ত্ব মাধ্যমের ভিতর দিয়া সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে। কিন্তু অন্য কোন মাধ্যমে আপতিত হইলে আলোর কিছু অংশ প্রতিফলিত হয়। আলোর প্রতিফলন দুই প্রকার : (1) নিয়মিত প্রতিফলন ও (2) বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন।

নিয়মিত প্রতিফলনের সূত্র :

(1) আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও আপতন বিন্দু দিয়া প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব এক সমতলে অবস্থান করে।

(2) আপতন কোণ সর্বদা প্রতিফলন কোণের সমান হইবে।

প্রতিবিম্ব : যখন কোন বিন্দুপ্রভব হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া অন্য কোন বিন্দুতে মিলিত হয় বা অন্য কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তখন ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুপ্রভবের প্রতিবিম্ব বলা হয়।

প্রতিবিম্ব দুই প্রকার : (1) সদ্বিম্ব ও (2) অসদ্বিম্ব।

সমতল দর্পণ যে-প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে তাহার নিম্নলিখিত ধর্ম বর্তমান :

(1) দর্পণ হইতে বস্তুর দূরত্ব—দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব।

(2) প্রতিবিম্ব ও বস্তু সরলরেখা দ্বারা যোগ করিলে তাহা দর্পণকে লম্বভাবে ছেদ করে।

(3) প্রতিবিম্ব অসদ্।

ঘূর্ণমান দর্পণের নীতি :

আপতিত রশ্মির কোন পরিবর্তন না করিয়া দর্পণকে θ কোণ ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি 2θ কোণে ঘুরিবে।

প্রশ্নাবলী

1. আলোর প্রতিফলন কাহাকে বলে? প্রতিফলনের সূত্র কি? ঐ সূত্রগুলির সত্যতা প্রমাণ করিবে কিরূপে?

[What is reflection of light? What are the laws of reflection? How would you verify the laws?] [*cf. H. S. Exam. 1962, P. U 1962*]

2. প্রতিফলন সূত্রসমূহের সত্যতা পরীক্ষামূলকভাবে কিরূপে প্রমাণ করিবে? সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব দূরত্ব ও বস্তু দূরত্ব সমান হয় ইহা প্রমাণ করিবার জন্য একটি উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

সমতল দর্পণে একটি আলোক রশ্মি 60° কোণে আপতিত হইলে প্রতিফলনের পর রশ্মির চ্যুতি কত হইবে ? নক্সার সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

[How would you experimentally verify the laws of reflection ? Describe an experiment to show that the image of a luminous point, formed by a plane mirror is as far behind the mirror as the luminous point is in front.

What deviation is produced by reflection at plane surface when the angle of incidence is 60° ? Explain by a diagram.] [*H. S. Exam. 1961*]

3. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির যথাযথ উত্তর লেখ :—

(ক) আয়নায় আলো পড়িলে চকচকে দেখায় কিন্তু দেওয়ালে আলো পড়িলে চকচকে দেখায় না। কেন ?

(খ) দর্পণের পশ্চাদ্ভাগে অস্বচ্ছ পারদ-প্রলেপ দেওয়া থাকে কেন ?

(গ) ক্যামেরা, দূরবীণ প্রভৃতি যন্ত্রের অভ্যন্তর কৃষ্ণবর্ণ করা হয় কেন ?

(ঘ) সিনেমার পর্দা সাদা এবং অমসৃণ করা হয় কেন ?

(ঙ) ঊষা এবং গোধূলিতে আকাশের রং লাল হয় কেন ?

(চ) ঘষা কাচ জলে ভিজাইলে প্রায় স্বচ্ছ দেখায় কেন ?

(ছ) কোন দর্পণ ঠিক সমতল কি-না কিরূপে বুঝিবে ?

[Answer the following questions correctly :--

(*a*) A mirror appears shining when light falls on it but a wall does not. Why ?

(*b*) Why is a mirror given an opaque coating of mercury at its back ?

(*c*) Why are the interiors of instruments like camera, telescope etc. painted black ?

(*d*) Why is the projection screen in a cinema made of rough and white material ? [*H. S. Exam. 1963*]

(*e*) Why does the sky look red at dawn and twilight ?

(*f*) Why does a sheet of ground-glass become almost transparent when wet ?

(*g*) How would you test the planeness of a mirror ?]

4. (ক) সমতল দর্পণ (খ) বাড়ীর দেওয়াল এবং (গ) পরিষ্কার কাচের প্লেট কর্তৃক প্রতিফলনের ভিতর পার্থক্য কি ?

[What differences are there in the reflection of light from (*a*) plane mirror (*b*) the wall of a room and (*c*) a white sheet of glass ?]

5. প্রতিবিম্ব বলিতে কি বোঝ ? কতপ্রকার প্রতিবিম্ব আছে ? উহাদের ভিতর পার্থক্য কি ?

[What do you mean by an image ? How many kinds of images are there ? What is the difference between them ?]

6. আলোক রশ্মির প্রতিফলনের সূত্র বল, কোন বিন্দুপ্রভব হইতে নির্গত আলোক-রশ্মি সমতল দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া একটি বিন্দু হইতে অপসৃত হয় তাহা দেখাও। ঐ বিন্দুকে কি বলে ? উহার অবস্থান কোথায় ? উহার প্রকৃতি কিরূপ ?

[State the laws of reflection of light. Show that the rays from a luminous point falling upon a plane mirror proceed, after reflection, as though they diverge from a single point. What is that point called ? What is its position ? And nature ? [*H. S. Exam. 1960*]

7. ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও কিরূপে সমতল দর্পণ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। প্রমাণ কর যে দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব বস্তুর দূরত্বের সমান।

[Explain, by a diagram, how a plane mirror produces an image. Prove that the distance of the image from the plane mirror is equal to that of the object.]

8. সমতল দর্পণে বস্তুর প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিলে ঐ প্রতিবিম্ব কোথায় অবস্থিত হইবে ? প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী একটি ছবি আঁকিয়া বুঝাও যে তুমি যে অবস্থানের কথা বলিয়াছ প্রতিবিম্ব ঐ অবস্থানে আছে।

তোমার উক্তিটি পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণ করিবে কিরূপে ?

[State the position of an image of an object formed by a plane mirror. Draw a diagram, based on the laws of reflection, which will show that the image has the position you have stated.

How would you verify your statement by experiment ?]

9. দুইটি দর্পণ সমান্তরাল থাকিলে এবং সমকোণে থাকিলে উহারা কিরূপ প্রতিবিম্বের সৃষ্টি করে তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাও।

[Explain, by diagrams, how two plane mirror inclined at right angles and parallel to each other, produce images of an object] [*cf H S (comp) 1961*]

10 (*a*) M_1 এবং M_2 দুইটি সমান্তরাল দর্পণের মধ্যে P একটি বিন্দু প্রভা। M_1 দর্পণ হইতে উহার দূরত্ব 4 cm এবং M_2 দর্পণের ভিতর দিয়া দৃষ্ট দ্বিতীয় প্রতিবিম্ব M_1 দর্পণ হইতে 22 cm দূরে অবস্থিত। দর্পণ দুইটির ভিতরকার দূরত্ব নির্ণয় কর।

[An object P is placed between two parallel mirrors M_1 and M_2 The distance of P from M_1 is 4 cm and the distance of the second image seen through M_2 is 22 cm. from M_1. Find the distance between M_1 and M_2.]

[Ans 9 cm.]

(*b*) A এবং B দুইটি সমান্তরাল দর্পণের মধ্যে একটি বস্তুবিন্দু রাখা আছে। দর্পণদ্বয়ের মধ্যের দূরত্ব 8 inches এবং বস্তুবিন্দু একটি দর্পণ হইতে 2 inches দূরে। A দর্পণের [illegible] তৃতীয় প্রতিবিম্ব এবং B দর্পণের পশ্চাতে তৃতীয় প্রতিবিম্ব দুইটির ভিতর দূরত্ব কত ?

[A point object is placed between two plane parallel mirrors A and B, which are 8 inches apart. The point object is 2 inches from one of the mirrors. Find the distance between the third image behind A and the third image behind B.] [Ans. 82 inches]

11. প্রমাণ কর যে সমতল দর্পণ যে-কোণে আবর্তিত হয়, প্রতিফলিত রশ্মি উহার দ্বিগুণ কোণে আবর্তিত হয়।

[When a plane mirror is rotated through an angle show that a ray reflected therefrom is turned through an angle twice as much.]

[*H. S. Exam. 1960 ; (comp) 1962, '63 , P. U. 1962*]

12. দুইটি দর্পণ সমকোণে আনত আছে। একটি রশ্মি পর পর দর্পণ দুইটি দ্বারা প্রতিফলিত হইল। প্রমাণ কর যে মূল রশ্মি ও শেষ প্রতিফলিত রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল।

[A ray of light is reflected successively from two plane mirrors inclined at right angles to each other. Prove that the ray after second reflection is parallel to its original direction.]

13. নিজ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণে কোন ব্যক্তি তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়, ইহা ছবি আঁকিয়া প্রমাণ কর।

[Prove by means of a diagram, that a person can see his full image through a plane mirror whose height is half the height of the person]

[*cf. H S (comp) 1960, '61, H. S. Exam. 1962*]

14. একটি ঘরের মাঝখানে এক ব্যক্তি দণ্ডায়মান। ঐ ব্যক্তির সম্মুখের দেওয়ালের একটি আয়না টাঙানো আছে। আয়নাটির দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইলে ঐ ব্যক্তি আয়নার ভিতর দিয়া পিছনের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে ? দেওয়ালের উচ্চতা 15 ft.

[A man is standing at the middle of a room and a plane mirror is hanging on the wall in front. What is the minimum size of the mirror through which the person will see full image of the wall behind him, the wall being 15 ft. high ?

[*cf. H. S Exam 1964*] [Ans 5 ft.]

15. MN একখানি সমতল দর্পণ। AB এবং BC দর্পণের উপর আপতিত ও উহার প্রতিফলিত রশ্মি। D দর্পণের উপর যে-কোন বিন্দু। প্রমাণ কর যে, AB+BC<AD+DC

[MN is a plane mirror AB and BC are the incident and reflected rays. D is any point on the mirror. Prove that AB+BC<AD+DC.]

16 (i) কোন ব্যক্তি দর্পণের অভিমুখে 5 ft/sec গতিবেগে দৌড়াইলে সে ও তাহার প্রতিবিম্বের ভিতরকার দূরত্ব কত বেগে কমিবে ?

[A man is running toward a plane mirror with a velocity of 5 ft/sec At what rate will he approach his image ?] [*H. S. (comp) 1960*]

[Ans. 10 ft/sec]

(ii) কোন দর্পণ যদি কোন বস্তুর দিকে 2 ft/sec বেগে অগ্রসর হয় তবে প্রমাণ কর যে বস্তুর প্রতিবিম্ব বস্তুর দিকে 4 ft/sec বেগে অগ্রসর হইবে।

[A plane mirror is moving towards an object at a rate of 2 ft/sec Prove that the image is approaching the object at a rate of 4 ft/sec.]

(iii) দুইটি সমতল দর্পণের সাহায্যে তুমি কিরূপে তোমার মাথার পশ্চাদ্‌ভাগ দেখিতে পার ?

[How can you place two plane mirrors so that you can see the back of your head ?] [*H. S. (comp) 1963.*]

17. সমতল দর্পণে প্রতিফলনের পর যে প্রতিবিম্ব হয় তাহার 'পার্শ্বীয় পরিবর্তন' ঘটে—ইহার ব্যাখ্যা কর।

[The image formed by a single reflection at plane mirror is said to be 'laterally inverted'. Explain this.] [*H. S. (comp) 1960*]

18. পরিষ্কার ছবি আঁকিয়া একটি পেরিস্কোপের কার্যপ্রণালী বর্ণনা করিয়া দাও। ইহা কি কাজে ব্যবহৃত হয়?

[Explain, with a diagram, the action of a periscope. For what purpose is it used?] [*H. S. Exam., 1962, '64*]

19. দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত কোন বস্তু যদি স্থান পরিবর্তন করে তবে উহার প্রতিবিম্বও অনুরূপভাবে সমান দূরত্ব সরিয়া যাইবে। প্রমাণ কর।

'ক্যালিডোস্কোপ' সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত নোট লেখ।

[Prove that when an object placed in front of a plane mirror moves through any distance, the image correspondingly moves through the same distance.

Write a brief note on 'Kaleidoscope'.] [*H. S. (comp) 1962*]

20. সমতল দর্পণ কর্তৃক একটি বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব তুমি লক্ষ্য করিতেছ। প্রতিবিম্ব দেখিবার জন্য কি দর্পণের পুরাপুরি দৈর্ঘ্য প্রয়োজন? চিত্র সহযোগে তোমার উত্তরের ব্যাখ্যা কর।

সমতল দর্পণ যে প্রতিবিম্ব গঠন করে তাহা অসদ ও পার্শ্বীয় পরিবর্তনযুক্ত। উহা বলিতে কি বোঝ?

সিনেমার পর্দা সাদা এবং অমসৃণ করা হয় কেন?

[You are looking at the image of an extended object formed by a plane mirror. Is the whole of the mirror necessary to form the image? Explain your answer with the help of a diagram.

An image formed by a plane mirror is said to be *virtual* and *laterally inverted*. Explain what you understand by the terms in italics.

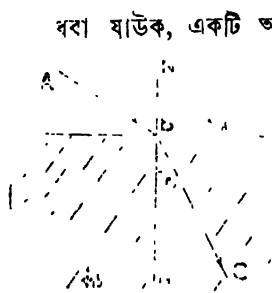
Why is the projection screen in a cinema house made of rough and white material?] [*H. S. Exam., 1963*]

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

সমতলে আলোকের প্রতিসরণ

[Refraction of light at a plane surface]

3-1. আলোকের প্রতিসরণ :

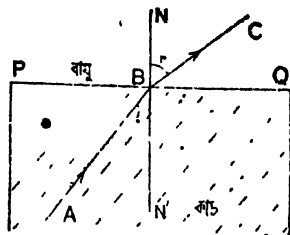
একটি জলপূর্ণ পাত্রের তলদেশে দৃষ্টিপাত করিলে মনে হয় জল তত গভীর নয়। তেমনি একটি লাঠি জলে খানিকটা ডুবাইলে মনে হয় যেন লাঠি যেখানে জল স্পর্শ করিয়াছে সেখান হইতে লাঠিটা বাঁকা। ইহা হইতে বোঝা যায় যে আলোক-রশ্মি জলে যে-সরলরেখায় চলে জল হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিলে অন্য সরলরেখায় চলে। অর্থাৎ, **এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রবেশ করিলে আলো গতির অভিমুখ পরিবর্তন করে।** আলোক-রশ্মির গতির অভিমুখের এই পরিবর্তনকে **প্রতিসরণ** (refraction) বলে।

ধরা যাউক, একটি আলোকরশ্মি বায়ুমাধ্যমে AB সরলরেখায় আসিয়া একটি কাচের ব্লকের উপর তির্যকভাবে আপতিত হইল (3ক নং চিত্র)। আলোক-রশ্মি এইবার কাচের ভিতর প্রবেশ করিবে। কিন্তু কাচের ভিতর রশ্মি যে-সরলরেখায় যাইবে তাহা AB হইতে ভিন্ন—কারণ B বিন্দুতে আলোকের প্রতিসরণ হইবে। ধরা যাউক, কাচের ভিতর আলোক-রশ্মি BC সরলরেখায় গমন করিল। এস্থলে AB **আপতিত রশ্মি,** BC **প্রতিসৃত রশ্মি,** B **আপতন-বিন্দু** (point of incidence) এবং PQ দুই মাধ্যমের বিভাগ-তলের ছেদ রেখা (line of section)। যদি B বিন্দু দিয়া PQ রেখার উপর লম্ব টানা যায় (NBN′) তবে উহাকে আপতন বিন্দুতে বিভাগ-তলের উপর **অভিলম্ব** বলা হয়। আপতিত রশ্মি AB অভিলম্ব BN-এর সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (অর্থাৎ ∠ABN) তাহাকে **আপতন কোণ** বলে এবং প্রতিসৃত রশ্মি BC উক্ত অভিলম্বের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (অর্থাৎ, ∠CBN′) তাহাকে **প্রতিসরণ কোণ** বলে।

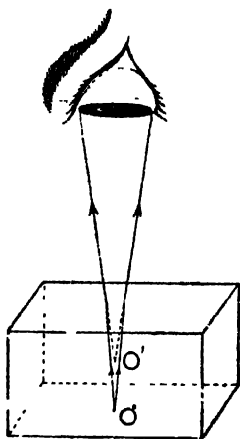
লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে আলোর প্রতিসরণ

চিত্র 3ক

দেখা গিয়াছে যে আলোক-রশ্মি যখন লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় (যেমন, বায়ু হইতে কাচে) তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা ছোট হয় (3ক নং চিত্র)।

ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে আলোর প্রতিসরণ
চিত্র 3খ

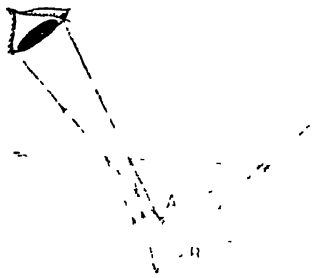
কিন্তু যদি আলোক-রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় (যেমন, কাচ হইতে বায়ুতে) তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বড় হয় (3খ নং চিত্র)।

3-2. আলোকের প্রতিসরণের কয়েকটি দৃষ্টান্ত :

(1) একটি কাগজের উপর কালির ফোঁটা ফেলিয়া উহার উপর একটি কাচের ব্লক রাখ. এইবার কাচের ভিতর দিয়া সোজাসুজি ফোঁটাটি লক্ষ্য করিলে মনে হইবে যে উহা খানিকটা উপরে উঠিয়া আছে। আলোকের প্রতিসরণের জন্যই এইরূপ প্রতীতি হয়।

প্রতিসরণের দরুন O বিন্দুকে O' বিন্দুতে দেখাইবে
চিত্র 3গ

মনে কর, O বিন্দু হইল ফোঁটাটি (3গ নং চিত্র)। এখন O বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছকে চোখে পৌছাইতে কাচ হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিতে হইবে। সুতরাং দুই মাধ্যমের বিভাগ তলে রশ্মির প্রতিসরণ হইবে। যেহেতু রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাইতেছে, সেই হেতু প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে এবং মনে হইবে O' বিন্দু হইতে আসিতেছে।

একই কারণে জলভর্তি পাত্রের তলদেশে সোজাসুজি তাকাইলে মনে পাত্রের জল তত গভীর নয়।

(2) **জলে নিমজ্জিত দণ্ডের বক্রতা ঃ**

একটি দণ্ড জলে তির্যকভাবে আংশিক ডুবাইয়া রাখিলে মনে হয় যেন দণ্ডটি যেখানে জল স্পর্শ করিয়াছে সেখান হইতে বাঁকানো (3ঘ নং চিত্র)। আলোকের প্রতিসরণের জন্য এইরূপ হয়।

দণ্ডের যে-অংশ জলের উপরে আছে তাহা হইতে আলোক-রশ্মি সোজাসুজি চোখে আসিবে। সুতরাং ঐ অংশকে চোখ যথাস্থানে দেখিবে। কিন্তু জলের ভিতরের অংশ হইতে আলোকরশ্মি যখন চোখে আসিবে তখন জল ও বায়ুর বিভাগ-তলে প্রতিসৃত হইয়া চোখে পৌঁছাইবে। এস্থলে রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রবেশ করায় প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে এবং মনে হইবে যেন B

প্রতিসরণ : জলে অর্ধনিমজ্জিত দণ্ডটি বাঁকা দেখায়
চিত্র 3ঘ

বিন্দু A বিন্দুতে রহিয়াছে। তেমনি নিমজ্জিত অংশের অন্যান্য বিন্দুগুলিও ঐভাবে মনে হইবে খানিকটা উঠিয়া আছে। সুতরাং নিমজ্জিত অংশ ও বাহিরের অংশ একই সরলরেখায় দেখা না যাওয়ায় মনে হয় লাঠিটা বাঁকিয়া আছে।

(3) **জলে নিমজ্জিত মুদ্রার প্রতিবিম্ব ঃ**

একটি কাঁসার বড় বাটিতে একটি চকচকে মুদ্রা রাখ এবং চোখকে আস্তে আস্তে সরাইয়া এমন স্থানে আন যাহাতে মুদ্রাটি সবে দৃষ্টির অগোচর হয়। এই অবস্থায় মুদ্রা হইতে আলোক-রশ্মি বাটির কিনারা দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হওয়ায় চোখে পৌঁছায় না।

চোখকে ঐ অবস্থায় রাখিয়া এইবার বাটি জলপূর্ণ কর। দেখিবে যে মুদ্রাটি দেখা যাইতেছে। এইরূপ হইবার কারণ আলোর প্রতিসরণ (3ঙ নং চিত্র)।

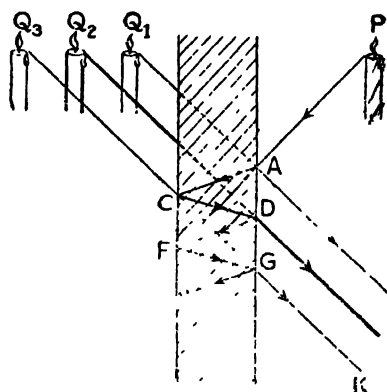
প্রতিসরণের দরুন মুদ্রাটি দৃষ্টির গোচরে আসিয়াছে
চিত্র 3ঙ

বাটিতে জল থাকায় মুদ্রা হইতে আলোক-রশ্মি নির্গত হইয়া জল হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিবে। জল বায়ু

অপেক্ষা ঘন বলিয়া প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে এবং এই প্রতিসৃত রশ্মি যখন চোখে পৌঁছাইবে তখন মনে হইবে যেন P বিন্দুটি P' বিন্দুতে অবস্থিত আছে। অর্থাৎ, মনে হইবে মুদ্রাটি খানিকটা উপরে উঠিয়া আসিয়াছে। সুতরাং ইহা দৃষ্টির গোচরে আসিবে।

(4) মোটা আয়না কর্তৃক বস্তুর বহু প্রতিবিম্ব সৃষ্টি :

একটি মোটা কাচের আয়নার সামনে কোন বস্তু—ধর, একটা মোমবাতি রাখিয়া একটু তির্যকভাবে প্রতিবিম্ব দেখিলে দেখা যাইবে যে অনেকগুলি প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হইয়াছে। আলোকের প্রতিসরণের জন্য এইরূপ হইয়া থাকে।

মোটা আয়না কর্তৃক বস্তুর বহু প্রতিবিম্ব গঠন
চিত্র 3চ

ধরা যাউক, মোমবাতির P বিন্দু হইতে PA আলোক-রশ্মি আয়নার উপর A বিন্দুতে আপতিত হইল (3চ নং চিত্র)। আলোক-রশ্মির খুব সামান্য অংশ A বিন্দুতে প্রতিফলিত হইবে এবং উহার জন্য একটি অস্পষ্ট প্রতিবিম্ব Q_1 তৈয়ারী হইবে। আলোক-রশ্মির বেশী অংশ কাচের ভিতর প্রতিসৃত হইয়া আয়নার পিছনে পারদ প্রলেপে আপতিত হইবে এবং সেখান হইতে সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া CD সরলরেখায় আসিয়া D বিন্দুতে আয়নার সম্মুখের তলে আপতিত হইবে। এই আলোক-রশ্মির আবার বেশী অংশ D বিন্দুতে প্রতিসৃত হইয়া বায়ুতে প্রবেশ করিবে এবং তাহার ফলে Q_2 প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিবে। এই প্রতিবিম্ব খুব স্পষ্ট হইবে এবং সাধারণত আমরা ইহাকেই আয়নার ভিতর প্রতিফলিত দেখি। D বিন্দুতে রশ্মির কিছু অংশ পুনরায় প্রতিফলিত হইবে এবং একই পদ্ধতি অনুসারে বার বার প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হইয়া Q_3 ও অন্যান্য প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিবে। কিন্তু ক্রমশ আলোর তীব্রতা কমিয়া আসায় প্রতিবিম্ব অস্পষ্ট হইয়া যায়। এইভাবে মোটা আয়নায় অনেকগুলি প্রতিবিম্ব দেখা যায়।

(5) বায়ুমণ্ডলে প্রতিসরণ :

সমুদ্রস্তর হইতে যত উপরে ওঠা যায় বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের ঘনত্ব তত কমিয়া যায়। সুতরাং সূর্য বা চন্দ্র হইতে নির্গত আলোক-রশ্মি যখন আমাদের চোখে পৌছায় তখন বিভিন্ন স্তরের ভিতর দিয়া আসিবার ফলে রশ্মির প্রতিসরণ হয় এবং বস্তুটিকে আমরা উহার প্রকৃত অবস্থান হইতে খানিকটা উপরে দেখি। এই কারণে সূর্য বা চন্দ্র উঠিবার একটু আগে এবং অস্ত যাইবার একটু পরেও সূর্য বা চন্দ্র আমাদের দৃষ্টির গোচরে থাকে।

3-3. প্রতিসরণের সূত্র (Laws of refraction) :

এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে যাইবার সময়ে আলোক-রশ্মির যে-প্রতিসরণ হয় তাহা নিম্নলিখিত সূত্রানুযায়ী হইয়া থাকে।

(1) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে দুই মাধ্যমের বিভেদ-তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি সর্বদা এক সমতলে থাকে।

(2) আপতন কোণের সাইন (sine) ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয় এবং এই ধ্রুবকের মান দুই মাধ্যম ও আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে।

অর্থাৎ, যদি আপতন কোণকে i বলা হয় এবং প্রতিসরণ কোণকে r বলা হয়, তবে উপরোক্ত সূত্রানুসারে $\frac{\sin i}{\sin r} = \mu$ (উচ্চারণ 'মিউ') = ধ্রুবক।

এই ধ্রুবক 'μ'কে বলা হয় প্রথম মাধ্যমের (অর্থাৎ, যে-মাধ্যম হইতে রশ্মি আগমন করে) সাপেক্ষ দ্বিতীয় মাধ্যমের (অর্থাৎ যে-মাধ্যমে রশ্মি প্রতিসৃত হয়) **প্রতিসরাঙ্ক** (refractive index)।

উদাহরণস্বরূপ বলা যাইতে পারে যে যখন আলোকরশ্মি বায়ু মাধ্যম হইতে আসিয়া কাচ মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন উক্ত কোণ দুইটির সাইনের অনুপাত 1·51 অর্থাৎ বায়ু সাপেক্ষ কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·51.

প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রকে **স্নেল-সূত্র** (Snell's law)-ও বলা হয়, কারণ এই সূত্রটি বিজ্ঞানী ডাঃ স্নেল আবিষ্কার করেন।

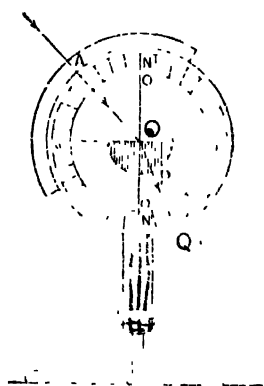
উপরোক্ত সূত্র হইতে আমরা লিখিতে পারি যে, যখন $i = 0$ তখন $r = 0$; অর্থাৎ, কোন রশ্মি অভিলম্বভাবে কোন মাধ্যমে আপতিত হইলে, প্রতিসরণের ফলে, রশ্মিটি অভিলম্বভাবে ঐ মাধ্যমের ভিতর দিয়া অগ্রসর হইবে ; উহার কোন দিক্ পরিবর্তন হইবে না।

3-4. পরীক্ষামূলকভাবে প্রতিসরণ সূত্রসমূহের সত্যতা নিরূপণ (Experimental verification of the laws of refraction) :

প্রতিসরণের সূত্র দুইটির সত্যতা দুই উপায়ে নিরূপণ করা যাইতে পারে। (1) হার্টল-এর আলোকচক্র দ্বারা ও (2) পিন দ্বারা।

(1) হার্টল-এর আলোকচক্র দ্বারা :

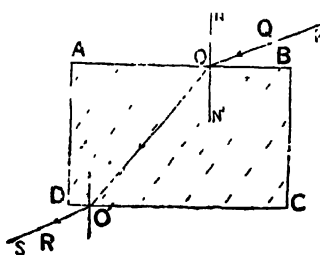
এই আলোকচক্রের বিবরণ দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে (2-5 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। 3ছ নং চিত্রে প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা দেখানো হইল।

এই চক্রের কেন্দ্রস্থলে O একটি অর্ধ-বৃত্তাকার কাচ ফলক (glass slab)। ইহা এমনভাবে আটকানো আছে যে ফলকের অনুভূমিক তল 90—90 রেখার সহিত মিশানো এবং 0—0 রেখা ফলকের কেন্দ্রের ভিতর দিয়া গিয়াছে। সুতরাং 0—0 রেখা কাচ ফলকের অনুভূমিক তলের উপর অভিলম্ব। এখন যদি একটি আলোকরশ্মি AO পথে চক্রের তল বরাবর আসিয়া কাচের উপর O বিন্দুতে আপতিত হয় তবে ঐ রশ্মি কাচের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইবে। ধর, প্রতিসৃত রশ্মি OP পথে গেল এবং পুনরায় যখন কাচ হইতে বহির্গত হইবে তখন আর প্রতিসৃত না হইয়া PQ পথে সোজা চলিয়া যাইবে। সুতরাং AO আপতিত রশ্মি, OPQ তাহার প্রতিসৃত রশ্মি। P বিন্দুতে আলোকের আর প্রতিসরণ না হইবার কারণ এই যে OP রেখা অর্ধবৃত্তের ব্যাসার্ধ হওয়ায় OP বরাবর আগত রশ্মি P বিন্দুতে অভিলম্বভাবে আপতিত হয়। সুতরাং P বিন্দুতে রশ্মির আর কোন প্রতিসরণ হয় না। এইবার চক্রের স্কেল হইতে সহজে AON কোণ ও QON′ কোণ নির্ণয় করা যাইবে।

হার্টলের আলোকচক্র দ্বারা প্রতিসরণের সূত্র পরীক্ষা
চিত্র 3ছ

এখন চাকতিকে ঘুরাইলে AO রশ্মির স্থান পরিবর্তন হইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে প্রতিসৃত রশ্মিরও স্থান পরিবর্তন হইবে। প্রত্যেকবার চাকতির স্কেল হইতে আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণ নির্ণয় কর। দেখা যাইবে যে

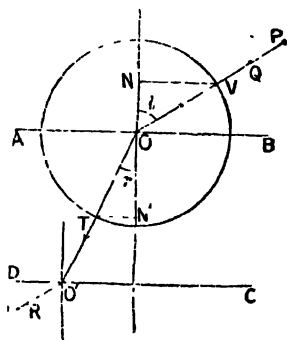
প্রত্যেকবার $\frac{\sin AON}{\sin QON}$-এর মান সমান হইবে। সুতরাং ইহা দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে। তাছাড়া, আপতিত রশ্মি AO, প্রতিসৃত রশ্মি OQ ও অভিলম্ব ON চক্রতলে অবস্থিত হওয়াতে প্রথম সূত্রেরও সত্যতা প্রমাণিত হয়।

পিন দ্বারা :

একটি কার্ডবোর্ডের উপর একখণ্ড সাদা কাগজ আঁটিয়া উহার মধ্যস্থলে একটি আয়তাকার কাচের ফলক রাখ। পেন্সিল দিয়া ফলকটির বহিঃরেখা ABCD আঁক (3জ নং চিত্র)। এইবার ফলটির AB পাশে দুইটি পিন P ও Q লম্বভাবে পোঁত যাহাতে PQ সরলরেখা AB সরল রেখাকে তির্যকভাবে ছেদ করে। এইবার ফলকটির CD পাশ হইতে কাচের ভিতর দিয়া P ও Q-এর প্রতিবিম্ব দেখ। চোখ এমন অবস্থায় রাখ যাহাতে প্রতিবিম্ব দুইটি এক সরলরেখায় থাকে। চোখ ঐভাবে রাখিয়া আরো দুইটি পিন R ও S ফলকের CD পাশে আটকাও যাহাতে R ও S এবং P ও Q-র প্রতিবিম্ব একই সরলরেখায় অবস্থান করে।

পিনদ্বারা প্রতিসরণের সূত্র পরীক্ষা
চিত্র 3জ

এইবার ফলকটি ও পিনগুলি সরাইয়া লইয়া P ও Q চিহ্ন যোগ কর ও উহাদের বর্ধিত করিয়া AB সরলরেখায় O বিন্দুতে মিশাও। তেমনি R ও S চিহ্ন যোগ করিয়া উহাদের বর্ধিত কর ও DC সরলরেখায় O বিন্দুতে মিশাও। এইবার OO বিন্দুদ্বয় একটি সরলরেখা দ্বারা যোগ কর। এস্থলে PQO আপতিত রশ্মি ও OO′ কাচের ভিতর প্রতিসৃত রশ্মি। O বিন্দুতে AB সরলরেখার উপর NN′ লম্ব টান (3ঝ নং চিত্র)। সুতরাং NON′ আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব।

চিত্র 3ঝ

O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া সুবিধামত ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত আঁক যাহা PQO

সরলরেখাকে V বিন্দুতে ও OO′ সরলরেখাকে T বিন্দুতে ছেদ করে। V এবং T হইতে NON′ অভিলম্বের উপর VN ও TN′ লম্ব টান।

এখন $\sin i=\frac{NV}{OV}$ এবং $\sin r=\frac{TN'}{OT}$

$$\therefore \frac{\sin i}{\sin r}=\frac{NV}{OV}\div\frac{TN'}{OT}=\frac{NV}{TN'} \quad [\because \quad OV=OT$$

NV ও TN′-এর দৈর্ঘ্য মাপিয়া উহাদের অনুপাত বাহির করিলে আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণদ্বয়ের সাইনের অনুপাত পাওয়া যাইবে। এইভাবে P ও Q পিনের অবস্থান পরিবর্তন করিয়া কয়েকবার পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে এই অনুপাতগুলি সর্বদা সমান। সুতরাং ইহা দ্বারা দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

উপরন্তু আপতিত রশ্মি PQO, প্রতিসৃত রশ্মি OO′ ও অভিলম্ব NN′ কাগজের তলে থাকায় প্রথম সূত্রের সত্যতাও ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয়।

3-5. আপেক্ষিক ও চরম প্রতিসরাঙ্ক (Relative and absolute refractive index) :

যখন কোন আলোকরশ্মি 'a' মাধ্যম হইতে আসিয়া 'b' মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে 'a' মাধ্যমের সাপেক্ষ 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলা হয়। ইহাকে $_a\mu_b$ এইভাবে লেখা হয়। অর্থাৎ

$$_a\mu_b=\frac{\sin i}{\sin r} \qquad [\, i=\text{আপতন কোণ ও } r=\text{প্রতিসরণ কোণ}\,]$$

এই প্রতিসরাঙ্ককে **আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক** বলে।

যেহেতু, আলোর গতিপথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible), কাজেই কোন রশ্মি যদি 'b' মাধ্যম হইতে আসিয়া বিভাগতলে r কোণে আপতিত হয় তবে 'a' মাধ্যমে প্রতিসৃত হইবার সময় প্রতিসরণ কোণ i হইবে। অর্থাৎ, এই অবস্থায়

$$_b\mu_a=\frac{\sin r}{\sin i}$$

সুতরাং $_a\mu_b \times {}_b\mu_a=\frac{\sin i}{\sin r}\times\frac{\sin r}{\sin i}=1$

অথবা, $_a\mu_b=\frac{1}{_b\mu_a}$

যেমন বায়ু মাধ্যমের সাপেক্ষ কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$, অতএব কাচ মাধ্যমের সাপেক্ষ বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক $\frac{2}{3}$.

যখন কোন আলোকরশ্মি শূন্য (vacuum) হইতে অন্য কোন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তখনকার প্রতিসরাঙ্ককে ঐ মাধ্যমের **চরম প্রতিসরাঙ্ক** বলে।

সাধারণভাবে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিলে বুঝিতে হইবে যে আলোকরশ্মি বায়ু হইতে আসিয়া উক্ত মাধ্যমে প্রতিসৃত হইয়াছে। যেমন, কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 বলিলে বুঝিতে হইবে যে বায়ু মাধামে রশ্মি আসিয়া যে-আপতন কোণ সৃষ্টি করিবে ও কাচের মধ্যে প্রতিসৃত হইয়া যে-প্রতিসরণ কোণ উৎপন্ন করিবে উহাদের সাইনের অনুপাত 1·5.

কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোকের বর্ণের (colour of light) উপর নির্ভর করে, একথা পূর্বেই বলা হইয়াছে। যেমন, লালবর্ণের আলোকের বেলাতে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক যাহা হইবে, সবুজ, নীল বা বেগুনি বর্ণের আলোকের বেলাতে তাহা অপেক্ষা বেশী হইবে। আর, প্রতিসরাঙ্ক বেশী হইলে সেই মাধ্যমকে বলা হয় আলোক সাপেক্ষে ঘন মাধ্যম। **মাধ্যমের এই ঘনত্বের সহিত উহার প্রাকৃতিক ঘনত্ব** (physical density) **বা আপেক্ষিক গুরুত্বের কোন সম্পর্ক নাই**। যেমন, প্রাকৃতিক ঘনত্ব হিসাবে তার্পিন তেল জল অপেক্ষা লঘু (তার্পিনেরআঃ গুঃ $=0·87$) কিন্তু আলোক সাপেক্ষে তার্পিন তেল জল অপেক্ষা ঘন (তার্পিনের প্রতিসরাঙ্ক $=1·47$)। সুতরাং একথা মনে রাখিতে হইবে যে কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বেশী হইলে উহা আলোক সাপেক্ষে বেশী ঘন নাও হইতে পারে।

3-6. প্রতিসরাঙ্কের সহিত আলোকের গতিবেগের সম্পর্ক :

প্রতিসরাঙ্কের একটি গুরুত্বপূর্ণ তাৎপর্য আছে। কারণ আলোকের তরঙ্গবাদ (wave theory of light) হইতে প্রমাণ করা যায় যে কোন পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক μ হইলে,

$$\mu = \frac{\text{শূন্যে আলোকের গতিবেগ}}{\text{ঐ পদার্থে আলোকের গতিবেগ}}$$

এখন যদি দুইটি মাধ্যম 'a' এবং 'b' লওয়া যায় এবং 'a' মাধ্যমের সাপেক্ষ 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক ${}_a\mu_b$ হয় তবে,

$${}_a\mu_b = \frac{\text{'}a\text{' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ}}{\text{'}b\text{' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ}}$$

যদি 'b' মাধ্যম 'a' মাধ্যম অপেক্ষা ঘন হয় তবে $_a\mu_b > 1$ এবং সেক্ষেত্রে 'b' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ 'a' মাধ্যম অপেক্ষা কম। অর্থাৎ, ঘনতর মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ লঘুতর মাধ্যম অপেক্ষা কম।

তাছাড়া, উপরোক্ত সম্পর্ক হইতে এক মাধ্যম হইতে অপর মাধ্যমে আলোক-রশ্মি প্রবেশ করিলে কেন রশ্মির গতিপথের পরিবর্তন হয় তাহার কারণ আমরা বুঝিতে পারি।

(i) যদি উভয় মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ সমান হয় তবে $_a\mu_b = 1$ অর্থাৎ $\sin i = \sin r$ অথবা $i = r$; এক্ষেত্রে রশ্মির গতিপথের কোন পরিবর্তন হয় না। সুতরাং আলোক-রশ্মির কোন প্রতিসরণ হইবে না।

(ii) যদি 'b' মাধ্যমে গতিবেগ কম হয়, অর্থাৎ 'b' মাধ্যম ঘনতর হয় তবে $_a\mu_b > 1$ অর্থাৎ $\sin i > \sin r$ অথবা $i > r$, এক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা কম হওয়ায় আলোক-রশ্মি গতিপথ পরিবর্তন করিয়া অভিলম্বের দিকে ঘেঁষিয়া যাইবে।

(iii) যদি 'b' মাধ্যমে গতিবেগ বেশী হয়, অর্থাৎ 'b' মাধ্যম লঘুতর হয় তবে $_a\mu_b < 1$, অর্থাৎ $\sin i < \sin r$ অথবা $i < r$, এক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বেশী হওয়ায় আলোক-রশ্মি গতিপথ পরিবর্তন করিয়া অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে।

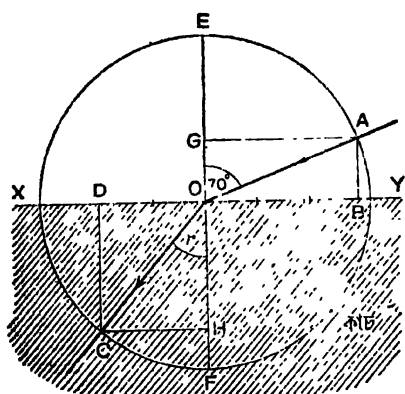
উপরোক্ত ফলাফল পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণিত হইয়াছে। সুতরাং একথা নিঃসন্দেহে বলা যাইতে পারে যে বিভিন্ন মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ বিভিন্ন হওয়ায় এক মাধ্যম হইতে অপর মাধ্যমে আলোক-রশ্মি প্রবেশ করিলে রশ্মির প্রতিসরণ হয়।

কয়েকটি পদার্থের প্রতিসরাঙ্কের তালিকা

কঠিন পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক	তরল পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক
ক্রাউন কাচ	1·5	জল	1·33
ফ্লিণ্ট কাচ	1·62	গ্লিসারিন	1·47
হীরা	2·6	তাপিন তেল	1·47
বরফ	1·31	অ্যাল্‌কোহল	1·37

3-7. জ্যামিতিক পদ্ধতিতে প্রতিসৃত রশ্মির অঙ্কন (Geometrical construction of refracted ray) :

ধরা যাউক, একটি আলোকরশ্মি 70° আপতন কোণে একটি কাচের ব্লকের উপর আসিয়া পড়িয়াছে। উহার প্রতিসৃত রশ্মি জ্যামিতিক অঙ্কনের সাহায্যে নির্ণয় করিতে হইবে। বলা আছে যে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$.

ধর, XY কাচের ব্লকের উপরতল (3ঞ নং চিত্র)। ব্লকের মধ্যস্থলে O একটি বিন্দু লও এবং XY রেখার সহিত সমকোণ করিয়া EOF লম্ব টান। OE রেখার সহিত 70° কোণ করিয়া AO রেখা টান। AO আপতিত রশ্মি বুঝাইবে। O হইতে XY বরাবর ডান দিকে তিনটি সমান অংশ লও যাহার সর্বশেষ ভাগের প্রান্ত বিন্দু হইল B এবং বাঁদিকে ঐরূপ সমান দুইটি অংশ লও যাহার প্রান্ত বিন্দু হইল D, B হইতে আপতিত রশ্মির উপর BA রেখা টান যাহাতে ঐ রেখা XY রেখার লম্ব হয়। O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া এবং OA ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত অঙ্কন কর। D বিন্দু দিয়া XY রেখার উপর DC লম্ব টান যাহাতে ঐ লম্ব পূর্বোক্ত বৃত্তকে C বিন্দুতে ছেদ করে। এখন OC সরলরেখা টানিলে উহাই হইবে প্রতিসৃত রশ্মি।

জ্যামিতিক পদ্ধতিতে প্রতিসৃত রশ্মি অঙ্কন
চিত্র 3ঞ

OC রেখা যে প্রকৃত প্রতিসৃত রশ্মি তাহা প্রমাণ করিতে হইলে A এবং C বিন্দু হইতে EOF সরলরেখার উপর যথাক্রমে AG এবং CH লম্ব টান। আমরা যদি প্রমাণ করিতে পারি যে $\frac{\sin 70^\circ}{\sin r} = \frac{3}{2}$ তাহা হইলেই OC প্রতিসৃত রশ্মি বুঝাইবে।

এখন, $\sin 70° = \frac{AG}{AO}$ এবং $\sin r = \frac{CH}{CO}$

$\therefore \frac{\sin 70°}{\sin r} = \frac{AG}{AO} / \frac{CH}{CO} = \frac{AG}{CH}$ [কারণ AO = CO]

কিন্তু AG = OB এবং CH = OD

অর্থাৎ, $\frac{AG}{CH} = \frac{OB}{OD} = \frac{3}{2}$ (অঙ্কন অনুযায়ী)

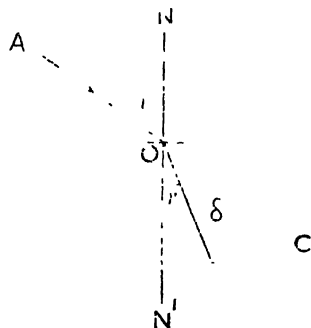
সুতরাং $\frac{\sin 70°}{\sin r} = \frac{3}{2}$

কাজেই AO আপতিত রশ্মির প্রতিসৃত রশ্মি হইবে OC.

3·8. প্রতিসরণের দরুন আলোকরশ্মির চ্যুতি (Deviation of a ray due to refraction) :

এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রতিসৃত হইবার সময় আলোক-রশ্মির পথের চ্যুতি (deviation) হয়। আপতিত রশ্মির অভিমুখ ও প্রতিসৃত রশ্মির অভিমুখের ভিতর যে-কোণ উৎপন্ন হয় তাহাই রশ্মির চ্যুতির পরিমাপ।

মনে কর, AO একটি আপতিত রশ্মি এবং OB উহার প্রতিসৃত রশ্মি। $\angle AON = i$ = আপতন কোণ ও $\angle N'OB = r$ = প্রতিসরণ কোণ। AOকে বর্ধিত করিয়া AOC রেখা টান। আপতিত রশ্মির অভিমুখ AOC ; কিন্তু প্রতিসৃত রশ্মির অভিমুখ OB, সুতরাং প্রতিসরণের দরুন রশ্মির চ্যুতি $(\delta) = \angle BOC$ [3ট নং চিত্র]।

A N O δ C N' B

প্রতিসরণের দরুন রশ্মির চ্যুতির পরিমাণ

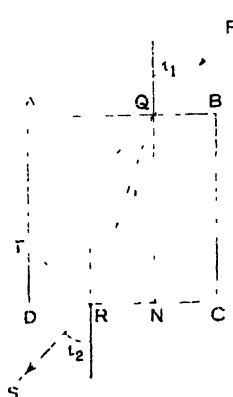
চিত্র 3ট

এখন, $\delta = \angle BOC = \angle NOC - \angle N'OB$

$= \angle NOA - \angle N'OB$. [$\because \angle NOA = \angle N'OC$]

· যদি রশ্মি লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তবে $i > r$, সেক্ষেত্রে $\delta = i - r$; কিন্তু যদি রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তবে $r > i$ এবং সেক্ষেত্রে $\delta = r - i$.

3-9. সমান্তরাল ফলকের মধ্য দিয়া আলোকরশ্মির প্রতিসরণ (Refraction of a ray of light through a parallel block) ঃ

সমান্তরাল তলবিশিষ্ট ফলককে সমান্তরাল ফলক বলা হয়। মনে কর A B C D একটি কাচের সমান্তরাল ফলক এবং PQ একটি রশ্মি $\angle i_1$ আপতন কোণে AB তলে আপতিত হইয়াছে। রশ্মিটি কাচের ভিতর প্রবেশ করিবার সময় প্রতিসৃত হইবে এবং মনে কর, $\angle r_1$ প্রতিসরণ কোণে QR বরাবর গিয়া ফলকের অপর তল CD-তে আপতিত হইল। রশ্মিটি এবার কাচ হইতে বায়ুতে নির্গত হইবার সময় পুনরায় প্রতিসৃত হইবে। ধর, রশ্মিটির নির্গমন কোণ $= \angle i_2$. এক্ষেত্রে প্রমাণ করা যায় যে **আপতিত রশ্মি PQ এবং নির্গম রশ্মি RS পরস্পরের সমান্তরাল।** তাছাড়া, আর একটি লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে PQ এবং RS পরস্পরের সমান্তরাল বটে কিন্তু একই সরল রেখায় অবস্থিত নয়,

চিত্র 3ঠ

অর্থাৎ ফলকের ভিতর দিয়া প্রতিসরণের ফলে রশ্মির কিছু **পার্শ্ব-সরণ** (lateral displacement) ঘটে [3ঠ নং চিত্র]।

এখন, বায়ু সাপেক্ষ কাচের প্রতিসরাঙ্ক ${}_a\mu_g$ ধরিলে, আমরা লিখিতে পারি,

$$ {}_a\mu_g = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} $$

আবার, কাচ সাপেক্ষ বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক ${}_g\mu_a$ হইলে, R বিন্দুতে প্রতিসরণ অনুযায়ী $\quad {}_g\mu_a = \dfrac{\sin r_2}{\sin i_2}$

কিন্তু আমরা জানি, ${}_a\mu_g = \dfrac{1}{{}_g\mu_a}$

সুতরাং $\quad \dfrac{\sin i_1}{\sin r_1} = \dfrac{1}{\dfrac{\sin r_2}{\sin i_2}} = \dfrac{\sin i_2}{\sin r_2}$

এখন, চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায় যে $\angle r_1 = \angle r_2$; কাজেই $\sin r_1 = \sin r_2$ এবং $\sin i_1 = \sin i_2$

অতএব, $i_1 = i_2$

অর্থাৎ আপতিত রশ্মি PQ এবং নির্গম রশ্মি RS পরস্পরের সমান্তরাল।

পার্শ্বসরণ : PQ এবং RS এই দুই সমান্তরাল রশ্মির ভিতর দূরত্ব হইল পার্শ্বসরণের পরিমাপ। PQ বর্ধিত করিয়া R হইতে RT লম্ব টান। এক্ষেত্রে RT পার্শ্বসরণের মান নির্দেশ করিতেছে।

এখন, $\sin RQT = \dfrac{RT}{QR}$

$\therefore \quad RT = QR.\sin RQT$

$= QR \sin (i_1 - r_1)$

আবার, $\cos r_1 = \dfrac{QN}{QR} \quad \therefore \quad QR = \dfrac{QN}{\cos r_1} = \dfrac{AD}{\cos r_1} = \dfrac{t}{\cos r_1}$

[t = ফলকের বেধ = AD]

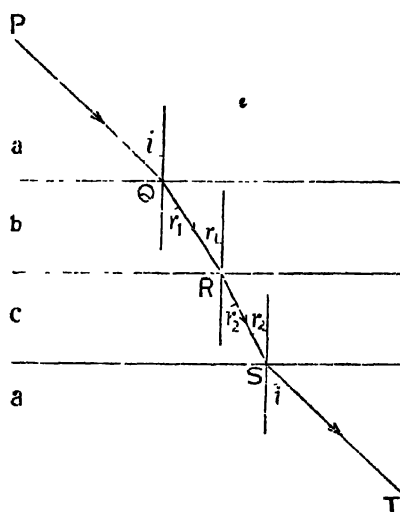
সুতরাং $RT = t.\dfrac{\sin(i_1 - r_1)}{\cos r_1}$

সুতরাং ফলকের বেধ (t), আপতন কোণ ($\angle i_1$) এবং ফলকের প্রতিসরাঙ্ক (μ) জানা থাকিলে (i_1 এবং μ জানা থাকিলে r_1 নির্ণয় করা যায়) রশ্মির পার্শ্বসরণ নির্ণয় করা যায়। অপর পক্ষে একথাও বলা যায় যে পার্শ্বসরণ ফলকের বেধ, আপতন কোণ এবং ফলকের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে।

3-10. ক্রমবর্ধমান ঘনত্বের পর পর রক্ষিত কয়েকটি সমান্তরাল মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোকের প্রতিসরণ (Refraction of light through a number of parallel media of increasing density) :

ধর, a, b, c, প্রভৃতি কয়েকটি সমান্তরাল মাধ্যম ক্রমবর্ধমান ঘনত্ব অনুসারে সজ্জিত—অর্থাৎ a অপেক্ষা b বেশী ঘন এবং b অপেক্ষা c আরো

ঘন, ইত্যাদি। কিন্তু প্রথম ও শেষ মাধ্যম এক। এই ধরনের পাতে আলোকরশ্মি আসিয়া পড়িলে এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে ক্রমাগত প্রতিসৃত হইয়া অবশেষে রশ্মি প্রথম মাধ্যমে নির্গত হইবে। পরীক্ষার ফলে দেখা গিয়াছে এইরূপ প্রতিসরণের ফলে আপতিত রশ্মি ও নির্গম (emergent) রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল হয়। যদি PQ আপতিত রশ্মি ও ST নির্গম রশ্মি হয় তবে উহারা পরস্পর সমান্তরাল হইবে (36 নং চিত্র)।

সমান্তরাল পাতে প্রতিসরণ
চিত্র 36

এখন, Q বিন্দুতে প্রতিসরণের ফলে আমরা লিখিতে পারি, $\dfrac{\sin i}{\sin r_1} = {}_a\mu_b$

তেমনি R ও S বিন্দুতে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে $\dfrac{\sin r_1}{\sin r_2} = {}_b\mu_c$ এবং $\dfrac{\sin r_2}{\sin i} = {}_c\mu_a$

ইহাদের গুণ করিলে পাই,

$$ {}_a\mu_b \times {}_b\mu_c \times {}_c\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r_1} \times \frac{\sin r_1}{\sin r_2} \times \frac{\sin r_2}{\sin i} $$
$$ = 1 $$

উপরোক্ত ফল শুধু a, b, c তিনটি মাধ্যম নয়—যে-কোন সংখ্যার সমান্তরাল মাধ্যম থাকিলেই হইবে—শুধু প্রথম ও শেষ মাধ্যম এক হইতে হইবে।

যদি 'a' মাধ্যমকে বায়ু ধরা হয় তবে পূর্বোক্ত সমীকরণ হইতে আমরা লিখিতে পারি,

$$ {}_{air}\mu_b \times {}_b\mu_c \times {}_c\mu_{air} = 1 $$
$$ {}_b\mu_c = \frac{1}{{}_{air}\mu_b \times {}_c\mu_{air}} = \frac{{}_{air}\mu_c}{{}_{air}\mu_b} $$

$= \dfrac{\text{'}c\text{' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক}}{\text{'}b\text{'}}$

উদাহরণ :

(1) বায়ুর তুলনায় জলের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$ এবং বায়ুর তুলনায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$ হইলে জলের তুলনায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক কত হইবে ?

[If the refractive index of water with respect to air be $\frac{4}{3}$ and that of glass with respect to air be $\frac{3}{2}$, what is the refractive index of glass with respect to water ?]

উ। আমরা জানি, ${}_{w}\mu_{g} = \dfrac{{}_{air}\mu_{g}}{{}_{air}\mu_{w}} = \dfrac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} = \dfrac{3}{2} \times \dfrac{3}{4} = \dfrac{9}{8}$

(2) কাচের তুলনায় গ্লিসারিনের প্রতিসরাঙ্ক 0·98 এবং বায়ুর তুলনায় গ্লিসারিনের প্রতিসরাঙ্ক 1·47 , বায়ুর তুলনায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক এবং কাচের তুলনায় বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

[Refractive index of glycerine with respect to glass is 0·98 and that of glycerine with respect to air is 1·47. Determine the refractive index of glass with respect to air and of air with respect to glass]

উ। আমরা জানি, ${}_{glass}\mu_{gly} = \dfrac{{}_{air}\mu_{gly}}{{}_{air}\mu_{glass}}$

$$\therefore \quad 0·98 = \frac{1·47}{{}_{air}\mu_{glass}}$$

$$\text{বা,} \quad {}_{air}\mu_{glass} = \frac{1·47}{0·98} = 1·5$$

$$\text{আবার,} \quad {}_{glass}\mu_{air} = \frac{1}{{}_{air}\mu_{glass}} = \frac{1}{1·5} = 0·66$$

3-11. সমতলে আলোকের প্রতিসরণ কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন (Formation of image by refraction at a plane surface) :

বস্তু হইতে নির্গত আলোক রশ্মি সমতলে প্রতিসৃত হইবার পর যখন দর্শকের চোখে পৌঁছায়, তখন মনে হয় ঐ প্রতিসৃত রশ্মিগুলি অন্য কোন বিন্দু হইতে আসিতেছে। ঐ বিন্দুকে বস্তু-বিন্দুর প্রতিবিম্ব বলা হইবে। বস্তু ঘন মাধ্যমে থাকিলে এবং চোখ লঘু মাধ্যমে থাকিলে মনে হইবে বস্তুখানিকটা উপরে উঠিয়া আসিয়াছে এবং বস্তু লঘু মাধ্যমে ও চোখ ঘন মাধ্যমে থাকিলে মনে

হইবে বস্তুটি খানিকটা দূরে সরিয়া গিয়াছে। নিম্নে এই দুই পদ্ধতির আলোচনা করা হইল। এস্থলে একটি কথা সর্বদা মনে রাখিতে হইবে যে দর্শক উপর হইতে সোজাসুজি নীচের দিকে তাকাইবে অর্থাৎ বস্তু হইতে নির্গত রশ্মিগুলি খুব তির্যকভাবে বিভাগ-তলে আপতিত হইলে সেগুলি বিবেচনা করা হইবে না— কারণ প্রতিসরণের পর রশ্মিগুলি দূরে বাঁকিয়া যাইবে এবং চোখে পৌঁছাইবে না।

(ক) বস্তু ঘন মাধ্যমে ও চোখ লঘু মাধ্যমে ঃ

'a' মাধ্যমে অবস্থিত P একটি বস্তু। P হইতে একটি রশ্মি PB অভিলম্ব-ভাবে প্রতিসরণতল AB-র উপরে আপতিত হইল (3চ নং চিত্র)। সুতরাং ঐ রশ্মি 'b' মাধ্যমে সোজাসুজি BC পথে চলিয়া যাইবে। আর একটি রশ্মি PA একটু তির্যকভাবে A বিন্দুতে আপতিত হইয়া AD পথে প্রতিসৃত হইল। প্রতিসৃত রশ্মিটি অভিলম্ব AN হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। এই দুইটি প্রতিসৃত রশ্মি—BC ও AD—পশ্চাতে বর্ধিত করিলে P' বিন্দুতে ছেদ করে। সুতরাং প্রতিসৃত রশ্মিদ্বয় চোখে পৌঁছাইলে মনে হইবে P বিন্দু P' বিন্দুতে অবস্থিত। অর্থাৎ P' বিন্দু হইল P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এস্থলে প্রতিবিম্ব প্রতিসরণতলের দিকে উঠিয়া আসিয়াছে।

প্রতিসরণের জন্য প্রতিবিম্ব কিছু উপরে উঠিয়া যাইবে

চিত্র 3চ

এখন 'b' মাধ্যমের সাপেক্ষ 'a' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ ধরিলে, প্রতিসরণের সূত্রানুযায়ী,

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\sin PAN'}{\sin DAN}$$

কিন্তু $\angle PAN' = \angle APB$ এবং $\angle DAN = \angle P'AN' = \angle AP'B$

সুতরাং, $$\frac{1}{\mu} = \frac{\sin ABP}{\sin AP'B} = \frac{AB}{AP} \Big/ \frac{AB}{AP'} = \frac{AP'}{AP}$$

যেহেতু, A বিন্দু B বিন্দুর খুব নিকটবর্তী (PA রশ্মি খুব বেশী তির্যক নহে) কাজেই, AP' = BP' এবং AP = BP.

অর্থাৎ, $\frac{1}{\mu}=\frac{BP'}{BP}$

অথবা, $\mu=\frac{BP}{BP'}=\frac{\text{বস্তুর প্রকৃত গভীরতা}}{\text{,, আপাত ,,}}$

(খ) বস্তু লঘু মাধ্যমে ও চোখ ঘন মাধ্যমে :

'b' লঘু মাধ্যমে P একটি বস্তু। P হইতে দুইটি রশ্মি—PB ও PA—প্রতিসরণতল AB কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া ঘন মাধ্যম 'a'-তে প্রবেশ করে এবং যখন চোখে পৌঁছায় তখন মনে হয় রশ্মিদ্বয় P' বিন্দু হইতে নির্গত হইতেছে। অর্থাৎ, P' বিন্দু P বিন্দুর প্রতিবিম্ব।

এস্থলে প্রতিবিম্ব প্রতিসরণতল হইতে দূরে সরিয়া গিয়াছে (3৭ নং চিত্র)।

প্রতিসরণের জন্য প্রতিবিম্ব কিছু উপরে উঠিয়া যাইবে

চিত্র 3৭

এখানে $\mu=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin PAN'}{\sin DAN}$

কিন্তু $\angle PAN'=\angle APB$ এবং

$\angle DAN=\angle P'AN'=\angle AP'B.$

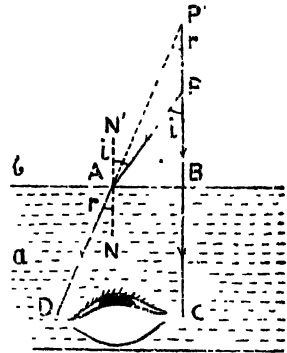
সুতরাং $\mu=\frac{\sin APB}{\sin AP'B}=\frac{AB}{AP}\Big/\frac{AB}{AP'}=\frac{AP'}{AP}$

কিন্তু A বিন্দু B বিন্দুর খুব নিকটবর্তী হওয়ায় $AP'=BP'$ এবং $AP=BP$, কাজেই,

$\mu=\frac{BP'}{BP}=\frac{\text{বস্তুর আপাত উচ্চতা}}{\text{,, প্রকৃত ,,}}$

উদাহরণ :

(1) একটি কাচ-ফলকের উচ্চতা 10 cm, ফলকের তলায় একটি বিন্দু আছে। ফলকের ভিতর দিয়া দেখিলে বিন্দুটির আপাত সরণ কত হইবে? কাচের $\mu=1.5$

[The height of a glass slab is 10 cm. There is a dot on the bottom of the block. What will be the apparent displacement of the dot when viewed through the block? μ of glass $=1.5$.]

উঃ। এক্ষেত্রে আমরা জানি, $\mu = \dfrac{\text{বস্তুর প্রকৃত উচ্চতা}}{\text{বস্তুর আপাত উচ্চতা}}$

অথবা, $1{\cdot}5 = \dfrac{10}{\text{বস্তুর আপাত উচ্চতা}}$

সুতরাং, বস্তুর আপাত উচ্চতা $= \dfrac{10}{1{\cdot}5} = 6{\cdot}6$ cm.

$\therefore$ বস্তুটির সরণ $= 10 - 6{\cdot}6 = 3{\cdot}4$ cm.

(2) একটি জলপূর্ণ পাত্রের গভীরতা 12 ft, সোজাসুজি তাকাইলে পাত্রের গভীরতা কত মনে হইবে ? জলের প্রতিসরাঙ্ক $= \frac{4}{3}$.

[A vessel full of water is 12 ft deep. If the refractive index of water with respect to air be $\frac{4}{3}$, find the apparent depth of the vessel]

উঃ। এক্ষেত্রে, আমরা জানি, $\mu = \dfrac{\text{প্রকৃত উচ্চতা}}{\text{আপাত উচ্চতা}}$

অথবা, $\frac{4}{3} = \dfrac{12}{\text{আপাত উচ্চতা}}$

সুতরাং, পাত্রের আপাত গভীরতা $= \frac{12 \times 3}{4} = 9$ ft.

(2) একটি স্বচ্ছ কাচের ঘনকের প্রত্যেক তলের দৈর্ঘ্য 15 cm উহার ভিতরে একটি ছোট বায়ু বুদ্‌বুদ্‌ আছে। কোন একটি তল হইতে লক্ষ্য করিলে মনে হয় উহা যেন ঐ তল হইতে 6 cm. গভীরে আছে। ঠিক বিপরীত তল হইতে লক্ষ্য করিলে উহার আপাত অবস্থান 4 cm. গভীরে মনে হয়। প্রথম তল হইতে বুদ্‌বুদ্‌টির প্রকৃত দূরত্ব এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

[A transparent cube of glass 15 cm. edge, contains a small air bubble. Its apparent depth when viewed through one face of the cube is 6 cm. and when viewed through the opposite face is 4 cm. What is the actual distance of the bubble from the first face and what is the refractive index of glass ?]

উ।* মনে কর প্রথম তল হইতে বুদ্‌বুদের প্রকৃত দূরত্ব $= x$ cms.
সুতরাং বিপরীত তল হইতে উহার প্রকৃত দূরত্ব $= 15 - x$,,

এক্ষেত্রে, আমরা জানি যে, $\mu = \dfrac{\text{প্রকৃত দূরত্ব}}{\text{আপাত দূরত্ব}}$

কাজেই, প্রথম তলের বেলাতে, $\mu = \dfrac{x}{6}$

এবং দ্বিতীয় তলের বেলাতে, $\mu = \dfrac{15 - x}{4}$

$$\therefore \quad \frac{x}{6} = \frac{15 - x}{4} \quad \text{বা,} \quad \frac{x}{3} = \frac{15 - x}{2} \quad \text{বা,} \quad 2x = 45 - 3x$$

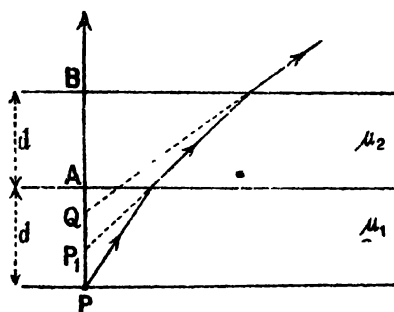
$$\therefore \quad x = 9 \text{ cm.} \quad \text{এবং } \mu = \tfrac{9}{6} = 1{\cdot}5$$

(4) একটি পাত্রের গভীরতা $2d$; উহার অর্ধেক μ_1 প্রতিসরাঙ্কযুক্ত তরল দ্বারা ভর্তি এবং অপরার্ধ μ_2 প্রতিসরাঙ্কের তরল দ্বারা পূর্ণ। যদি পাত্রের তলদেশে লম্বভাবে দৃষ্টিপাত করা যায় তবে প্রমাণ কর যে পাত্রের আপাত গভীরতা $= d\left(\dfrac{1}{\mu_1} + \dfrac{1}{\mu_2}\right)$

[A vessel has depth $2d$ and it is half-filled by a liquid of refractive index μ_1 and other half by another liquid of refractive index μ_2. Prove that when viewed perpendicularly, the apparent depth of the vessel is $= d\left(\dfrac{1}{\mu_1} + \dfrac{1}{\mu_2}\right)$]

উ। মনে কর, প্রথম তরল হইতে দ্বিতীয় তরলে প্রতিসরণের পর রশ্মি P_1 বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে [3ত নং চিত্র]।

চিত্র 3ত

অতএব, $\dfrac{AP}{AP_1} = \dfrac{\mu_1}{\mu_2}$ $\qquad AP_1 = \dfrac{\mu_2}{\mu_1}.AP = \dfrac{\mu_2}{\mu_1}.d$

এখন দ্বিতীয় তয়ল হইতে বায়ুতে প্রতিসৃত হইবার পর মনে কর রশ্মি Q বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে। এক্ষেত্রে,

$$\frac{BP_1}{BQ}=\mu_2$$

$$\therefore\quad BQ=\frac{BP_1}{\mu_2}=\frac{BA+AP_1}{\mu_2}=\frac{d}{\mu_2}+\frac{AP_1}{\mu_2}=\frac{d}{\mu_2}+\frac{d}{\mu_1}.$$

$$=d\left(\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}\right)$$

3-12. প্রতিসরণ সম্পর্কিত কয়েকটি উল্লেখযোগ্য ঘটনা :

(ক) অন্ধকার রাত্রে আকাশের দিকে দৃষ্টিপাত করিলে দেখিবে যে কতকগুলি জ্যোতিষ্ক মিট্‌মিট্ করিয়া আলো দিতেছে এবং কতকগুলি জ্যোতিষ্ক স্থিরভাবে আলো দিতেছে। প্রথমোক্ত জ্যোতিষ্কগুলিকে বলা হয় নক্ষত্র এবং উহারা পৃথিবী হইতে বহুদূরে অবস্থিত এবং শেষোক্ত জ্যোতিষ্কগুলি হইল গ্রহ। উহারা পৃথিবী হইতে অপেক্ষাকৃত কম দূরে অবস্থিত। নক্ষত্রের ঐরকম ঝিকিমিকি হইবার কারণ কি ?

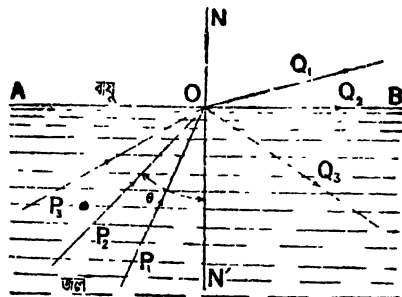
তোমরা জ্বলন্ত উনানের উপরকার উত্তপ্ত বায়ুর মধ্যে দিয়া কোন জিনিস দেখিবার চেষ্টা করিয়াছ ? দেখিবে যে ঐরূপভাবে দূরের কোন বস্তুর প্রতি দৃষ্টিপাত করিলে বস্তুটি কাঁপিতেছে। ইহার কারণ এই যে বায়ু উত্তপ্ত হওয়ায় উহার ঘনত্ব ও প্রতিসরাঙ্ক অনবরত পরিবর্তন করে। ঐরূপ বায়ুর ভিতর দিয়া বস্তু দেখিলে বস্তুকে কম্পমান মনে হয়। তারার ঝিকিমিকির কারণও ঐরূপ। বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা কখনও সকল স্তরে সর্বত্র সমান থাকে না। উহা অনবরত পরিবর্তন করে। ফলে বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের প্রতিসরাঙ্কও পরিবর্তিত হয়। বহু দূরবর্তী নক্ষত্র হইতে আলো ঐ বায়ুমণ্ডলের ভিতর দিয়া আসিবার কালে প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তনের জন্য প্রায়ই আঁকা-বাঁকা পথে অগ্রসর হয়। ঐ আলো দর্শকের চোখে পৌঁছাইলে, দর্শক একবার হয়ত বেশী আলো দেখিবে, আবার পরক্ষণেই কিছু কম আলো দেখিবে। এইজন্য দর্শক তারাকে 'ঝিক্‌মিক্' (twinkling) অবস্থায় দেখে। গ্রহগুলি পৃথিবীর নিকটবর্তী বলিয়া আলোক-রশ্মির পথ-পরিবর্তনের দরুন উজ্জ্বলতার হ্রাস-বৃদ্ধি বিশেষ বোঝা যায় না। তাই, উহারা স্থিরভাবে আলো দিতেছে বলিয়া মনে হয়।

(খ) একটি কাচের পাত্রে খানিকটা গ্লিসারিন লইয়া উহার ভিতর একটি কাচের দণ্ড রাখ। এখন গ্লিসারিনের ভিতর দিয়া কাচের দণ্ডটি দেখিবার চেষ্টা করিলে কাচের দণ্ডটি দেখা যাইবে না। কাচের এবং গ্লিসারিনের প্রতিসরাঙ্ক সমান। তাই উহারা একই মাধ্যমের মত ব্যবহার করে। ফলে, কাচ হইতে আলোকরশ্মির কোন প্রতিফলন বা প্রতিসরণ হয় না। উপরন্তু কাচ ও গ্লিসারিন স্বচ্ছ বলিয়া গ্লিসারিনের ভিতর দিয়া কাচ দেখা যায় না।

(গ) কাচ সাধারণত স্বচ্ছ পদার্থ কারণ কাচের ভিতর দিয়া আলো সহজে চলাচল করে। কিন্তু কাচকে গুঁড়া করিলে, কাচগুঁড়া অস্বচ্ছ হয়। কারণ আলোকরশ্মি গুঁড়ার ভিতর দিয়া যাইতে পারে না—অসংখ্য গুঁড়া কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে। আবার, কাচগুঁড়াতে জল ঢালিলে উহা পুনরায় স্বচ্ছ হয়। এস্থলে, জলের ভিতর দিয়া আলোর প্রতিসরণের সুবিধা হয় বলিয়া গুঁড়াকে স্বচ্ছ দেখায়।

3-13. আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (Total internal reflection):

আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে আলোক-রশ্মি যখন ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বেশী হয়।

ধরা যাউক, AB রেখা জল ও বায়ু মাধ্যমদ্বয়ের স্পর্শতলের (3খ নং চিত্র) ছেদ। এখানে জল ঘন ও বায়ু লঘু মাধ্যম। জলের মধ্যে P_1 বিন্দু হইতে কোন রশ্মি P_1O পথে গিয়া বায়ুতে OQ_1 পথে প্রতিসৃত হইল। প্রতিসরণ কোণ Q_1ON আপতন কোণ P_1ON' অপেক্ষা বড়। আপতন কোণ যত বৃদ্ধি করা হইবে প্রতিসরণ কোণও তত বৃদ্ধি পাইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না প্রতিসরণ কোণ 90° হয়, অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মি OQ_2 মাধ্যমদ্বয়ের স্পর্শতল-AB ঘেঁষিয়া যায়। কারণ, ইহা অপেক্ষা

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন
চিত্র 3খ

প্রতিসরণ কোণের মান বেশী হইতে পারে না। ধরা যাউক, আপতন কোণ যখন $\angle P_2ON'$ হইল তখন OQ_2 প্রতিসৃত রশ্মি AB তল ঘেঁষিয়া গেল

এইবার যদি আপতন কোণ আর একটু বাড়ানো যায়, তবে দেখা যাইবে যে রশ্মি আর বায়ুমাধ্যমে প্রতিসৃত হইতেছে না; সম্পূর্ণ রশ্মি সাধারণ প্রতিফলনের নিয়মানুযায়ী AB তল দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া জলে প্রবেশ করিতেছে। 3থ নং চিত্রে P_3ON' ঐরূপ বর্ধিত আপতন কোণ দেখানো হইয়াছে এবং তাহার ফলে OQ_3 রশ্মি জলে প্রতিফলিত হইয়া আসিয়াছে। এই অবস্থায় মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ-তল আয়নার মত ব্যবহার করে। ইহাকেই **আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন** বলে।

তাছাড়া, যে-আপতন কোণের ($\angle P_2ON'$) ফলে প্রতিসরণ কোণ 90° হয়, তাহাকে উক্ত মাধ্যমদ্বয়ের **সংকট কোণ** (critical angle) বলা হয়।

সুতরাং, আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইতে গেলে নিম্নলিখিত দুইটি শর্তের অবশ্য প্রয়োজন:

(1) রশ্মিকে ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাইতে হইবে।

(2) আপতন কোণ মাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ অপেক্ষা বড় হইতে হইবে।

3-14. সংকট কোণ ও ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সম্বন্ধ:

ধরা যাউক $\angle PON' = \theta$ জল ও বায়ুমাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ (3থ নং চিত্র)। সুতরাং প্রতিসৃত রশ্মি OQ_2 জলের উপরতল AB ঘেঁষিয়া যাইবে অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ $\angle NOQ_2 = 90^\circ$

প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী আমরা জানি,

$$\frac{\sin\theta}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{\mu}$$

[μ = বায়ু সাপেক্ষ জলের প্রতিসরাঙ্ক]

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{1}{\mu}$$

সুতরাং ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক জানা থাকিলে সংকট কোণ নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ:

(1) বায়ু সাপেক্ষ কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হইলে উহাদের সংকট-কোণ নির্ণয় কর।

[If the refractive index of glass with respect to air be 1·52 find the critical angle between them.]

উ। ধরা যাউক, সংকট কোণ $=\theta$ সুতরাং, $\sin\theta = 1/\mu$

এস্থলে $\mu = 1{\cdot}52$; অতএব $\sin\theta = \frac{1}{1{\cdot}52} = {\cdot}6579 = \sin 41^\circ$ (nearly)

$$\therefore \quad \theta = 41^\circ \text{ (nearly)}$$

(2) একটি রশ্মি কাচ হইতে জলে এমনভাবে প্রতিসৃত হইল যে প্রতিসৃত রশ্মি মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ-তল ঘেঁষিয়া গেল। বায়ুর তুলনায় কাচ ও জলের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·5 এবং 1·33 হইলে রশ্মিটির আপতন কোণ নির্ণয় কর।

[A ray of light passes from glass to water at a certain angle of incidence such that the refracted ray just grazes the surface of separation of the two media. If the refractive indices of glass and water with respect to air be 1·5 and 1·33 respectively, find the angle of incidence.]

উ। আমরা জানি, $_{\omega}\mu_{g} = \frac{_{air}\mu_{g}}{_{air}\mu_{\omega}} = \frac{1{\cdot}5}{1{\cdot}33} = 1{\cdot}12$

যেহেতু প্রতিসৃত রশ্মি মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ-তল ঘেঁষিয়া যাইতেছে সেইহেতু আপতন কোণ θ মাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ হইবে। এক্ষেত্রে জল লঘু মাধ্যম ও কাচ ঘন মাধ্যম। আমাদের জানা আছে,

$$\sin\theta = \frac{1}{_{\omega}\mu_{g}} = \frac{1}{1{\cdot}12} = {\cdot}89 \quad \therefore \quad \theta = 62^\circ\ 54' \text{ (প্রায়)}$$

3-15. প্রতিসরণের সূত্র হইতে আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের প্রমাণ (Proof of total internal reflection from the laws of refraction) :

পূর্ব অনুচ্ছেদে বলা হইয়াছে যে, 'θ' সংকট কোণ হইলে এবং ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক 'μ' হইলে, $\sin\theta = \frac{1}{\mu}$

এখন, ঘনতর মাধ্যমে আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইলে নিম্নলিখিত উপায়ে প্রমাণ করা যায় যে প্রতিসরণ কোণের কোন বাস্তব মানের (real value) পক্ষে প্রতিসরণ সূত্র মানিয়া চলা সম্ভব নয়—অর্থাৎ ঐ অবস্থায় আলোক-রশ্মির প্রতিসরণ সম্ভব নহে।

ধরা যাউক, সংকট কোণ θ অপেক্ষা বৃহত্তর কোন আপতন কোণের (i) বেলাতে প্রতিসরণ হইল এবং প্রতিসরণ কোণ$=\angle r$. এক্ষেত্রে প্রতিসরণের সূত্রানুযায়ী

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{1}{\mu}$$

$$\text{অথবা, } \sin r=\sin i\times\mu. \qquad \cdots\cdots(\text{i})$$

যেহেতু, $i>\theta$, সেই হেতু, $\sin i>\sin\theta$

$$<\frac{1}{\mu} \quad \left[\text{কারণ } \sin\theta=\frac{1}{\mu}\right]$$

কাজেই (i) নং সমীকরণ হইতে আমরা জানিতে পারি যে

$$\sin r>1$$

কিন্তু 'r' কোণের কোন বাস্তব মানের পক্ষে $\sin r$-এর মান 1-এর বেশী হওয়া কখনও সম্ভব নয়।

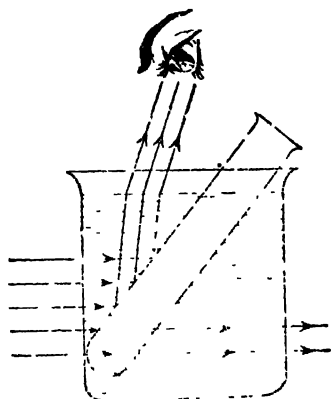
অতএব, উপরোক্ত অবস্থায় (অর্থাৎ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী আপতন কোণে) আলোক-রশ্মির প্রতিসরণ হওয়া সম্ভব নয়, আলোক-রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া ঘনতর মাধ্যমে ফিরিয়া আসিবে।

3-16. পূর্ণ প্রতিফলনের কয়েকটি দৃষ্টান্ত :

(1) একটি লোহার বলের গায়ে ভুসাকালি মাখাইয়া জলে ডুবাও। দেখিবে যে কালি মাখানো সত্ত্বেও বলের গা চক্‌চকে দেখাইতেছে। পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের জন্য এইরূপ হয়।

ভুসাকালি মাখাইবার ফলে বলটিকে জলে রাখিলেও উহার গায়ে একটা পাতলা বায়ুস্তর লাগিয়া থাকে। আলোকরশ্মি জলের ভিতর দিয়া গিয়া ঐ বায়ুস্তরে পড়ে অর্থাৎ ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাইবার চেষ্টা করে। চোখ যদি এমনভাবে রাখা যায় যে আপতন কোণ জল ও বায়ুর সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হয় তবে আলোকরশ্মি পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইবে; সুতরাং বলের ঐ অংশ আয়নার মত চক্‌চকে দেখাইবে।

একই কারণে জলের ভিতর হইতে বুদ্‌বুদ্‌ উঠিবার সময় চক্‌চকে দেখায় বা কাচের কাগজ-চাপার (paper-weight) ভিতর বুদ্‌বুদ্‌গুলি চক্‌চকে দেখায়। হীরা, চুনী, পান্না প্রভৃতি মূল্যবান পাথরের উজ্জ্বলতাও পূর্ণ প্রতিফলনের দরুন হইয়া থাকে।

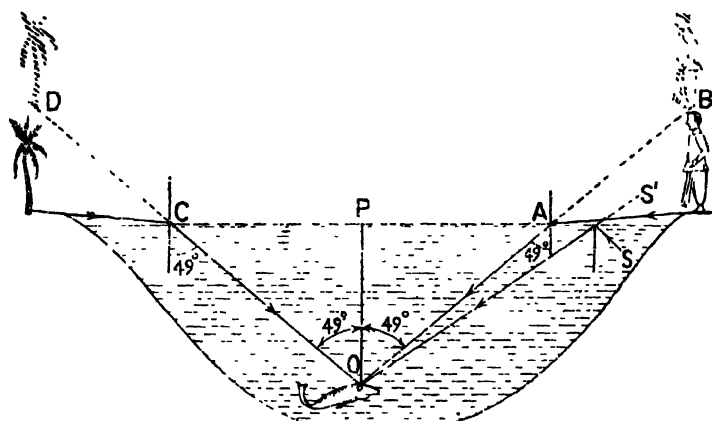
(2) একটি পাত্র জলপূর্ণ করিয়া উহার ভিতরে একটি কাচের টেস্ট টিউব আংশিক ডুবাইয়া রাখ। টেস্ট টিউবে খানিকটা জল লও। উপর হইতে টেস্ট টিউবের নিমজ্জিত খালি অংশে দৃষ্টিপাত করিলে চক্‌চকে দেখাইবে। এরূপ হইবার কারণ কি?

আলোক-রশ্মি জল হইতে গিয়া টেস্ট টিউবের অভ্যন্তরস্থ বায়ুতে প্রবেশ করিতে চায় এবং আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইলেই পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছায় (3দ নং চিত্র)। এই কারণে টেস্ট টিউবের গাত্র চক্‌চকে দেখায়।

পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য টেস্ট টিউবের নিমজ্জিত খালি অংশ চক্‌চকে দেখায়
চিত্র 3দ

টেস্ট টিউবের জলপূর্ণ অংশের দিকে তাকাইলে কিন্তু চকচকে দেখাইবে না। কারণ আলোক-রশ্মি টেস্টটিউবের বাহিরের জল হইতে আসিয়া ভিতরের জলে প্রবেশ করিবে। সুতরাং পূর্ণ প্রতিফলন হইবে না।

(3) জলের ভিতর মাছের দৃষ্টি (A fish eye view):

জলের ভিতর থাকিয়া মাছ জলের উপরের জিনিস কিরূপে দেখিতে পায় তাহা আলোচনা করা যাউক। মনে কর, ঐ জলাশয়ের তীরে একজন মানুষ দাঁড়াইয়া আছে। জল ও বায়ুর সংকট কোণ 49°। এখন মানুষ হইতে কোন রশ্মি যদি জলের তল ঘেঁষিয়া জলে প্রবেশ করে এবং মাছের চোখে পৌঁছায় তবে জলের ভিতর প্রতিসরণ কোণ হইবে 49° [3ধ নং চিত্র]। জলের উপর হইতে অন্য কোন রশ্মি ইহা অপেক্ষা বেশী কোণ করিয়া মাছের চোখে

পৌঁছাইতে পারে না। সুতরাং মাছ মানুষকে দেখিবে OAB রেখা বরাবর যাহা OP রেখার সহিত 49° কোণ উৎপন্ন করে। তেমনি, অপর পাড়ে একটি গাছ থাকিলে মাছের চোখ উহাকে OCD রেখা বরাবর দেখিতে পাইবে। চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায় যে OCD রেখাও OP রেখার সহিত 49°

জলের ভিতর মাছের দৃষ্টি

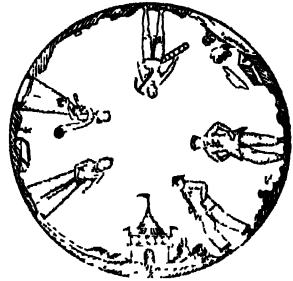
চিত্র 3দ

কোণ উৎপন্ন করে। সুতরাং **জলের উপরিস্থ সকল বস্তুই মাছের চোখে 98° কোণবিশিষ্ট একটি শঙ্কুর (cone) মধ্যে অবস্থিত আছে বলিয়া মনে হইবে।** এইজন্য আমরা পৃথিবীর উপরে বায়ুমণ্ডলে সূর্যকে প্রতিদিন প্রায় 180° ডিগ্রীর বৃত্তীয় চাপে পরিক্রমা করিতে দেখি কিন্তু জলের মধ্যে মাছ সূর্যকে 98 ডিগ্রীর বৃত্তীয় চাপে পরিক্রমা করিতে দেখে।

উপরোক্ত শঙ্কুর বাহিরে তাকাইলে মাছ জলের ভিতরস্থ বস্তু দেখিতে পাইবে। যেমন জলের ভিতরে একটি বস্তু S হইতে আলোক-রশ্মি জলতলে আপতিত হইলে আপতন কোণ 49° ডিগ্রীর বেশী হয়, সুতরাং রশ্মিটি জলতল দ্বারা পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া মাছের চোখে পৌঁছাইবে এবং বস্তুটিকে S' অবস্থানে দেখা যাইবে। এই কারণে মাছের চোখ সমস্ত জলতলকে চক্‌চকে আয়নার মত দেখিবে; শুধু ঐ আয়নাতে একটি গোল ছিদ্র থাকিবে যাহার

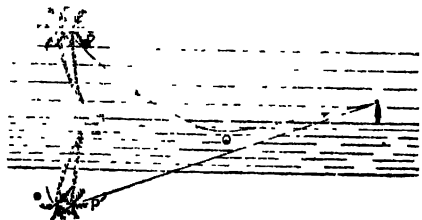
ব্যাসার্ধ হইবে CP অথবা AP এবং ঐ ছিদ্র দিয়া জলের উপরের সমস্ত বস্তু মাছের চোখে ধরা পড়িবে।

পুকুর পাড়ের জিনিসগুলি জলের মধ্যে মাছের চোখে যেমন দেখাইবে
চিত্র 3ন

একটি পুকুরের পাড়ে চতুর্দিকে যদি কয়েকজন মানুষ দাঁড়াইয়া থাকে তবে জলের ভিতর মাছের চোখ ঐ মানুষগুলি এবং পাড়ের অন্যান্য বস্তু যেভাবে দেখিতে পাইবে তাহা 3ন নং চিত্রে দেখানো হইল।

(4) **পূর্ণ প্রতিফলনের প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত :**

মরুঅঞ্চলে বা শীতপ্রধান দেশে কোন দূরের বস্তু সম্বন্ধে লোকের একপ্রকার দৃষ্টিভ্রম (optical illusion) হয়। মরুঅঞ্চলে মনে হয়, কোন দূরের গাছপালা কোন জলাশয় কর্তৃক প্রতিফলিত হইতেছে এবং শীতপ্রধান দেশে মনে হয় কোন দূরের বস্তুর উল্টা প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলিয়া আছে। এই ধরনের দৃষ্টিভ্রমকে **মরীচিকা** (mirage) বলে এবং ইহা আলোকের পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য হইয়া থাকে।

মরুভূমির মরীচিকা :

মরুভূমিতে সূর্যের উত্তাপে বালি খুব উত্তপ্ত হয় এবং উহার সংলগ্ন বায়ুস্তরও উত্তপ্ত হয়। ফলে ঐ বায়ুস্তরের আয়তন বাড়িয়া যায় এবং ঘনত্ব কমিয়া যায়। যত উপরে উঠা যায় তাপমাত্রা তত কম থাকে এবং তাহার ফলে উপরে ক্রমশ ঘনতর বায়ুস্তর অবস্থান করে। দূরের একটি গাছের কোন বিন্দু P হইতে যে-কোন নিম্নগামী আলোক-রশ্মি শীতল বায়ুস্তর হইতে উত্তপ্ত বায়ুস্তরে (অর্থাৎ ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে) যাওয়ার ফলে প্রতিসৃত হইবে এবং অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। এইভাবে ক্রমশ বাঁকিতে বাঁকিতে অবশেষে এমন একটি স্তরে—যেমন Q স্তরে আসিয়া পৌঁছাইবে যখন আপতন কোণ সেই স্তর ও নীচু স্তরের সংকট কোণ অপেক্ষা

মরুভূমির মরীচিকা
চিত্র 3প

বেশী হইবে (3প নং চিত্র)। সুতবাং তখন রশ্মির প্রতিসরণ না হইয়া আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইবে এবং প্রতিফলিত রশ্মি উপর দিকে যাত্রা সুরু করিবে। এইবার রশ্মি লঘুতর স্তর হইতে ঘনতর স্তরে প্রতিসৃত হওয়ায় ক্রমশ উপরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে এবং অবশেষে মানুষের চোখে যাইয়া পৌছাইবে। চোখ রশ্মির এই বক্রপথ অনুসরণ করিতে পারিবে না। চোখ দেখিবে যেন রশ্মিটি P' বিন্দু হইতে আসিতেছে। P' বিন্দু হইবে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব এবং এইভাবে মানুষ সমগ্র গাছের একটা উল্টা প্রতিবিম্ব দেখিবে।

তাছাড়া, তাপমাত্রার অনবরত পরিবর্তনের ফলে বিভিন্ন স্তরের ঘনত্ব ও প্রতিসরাঙ্ক সর্বদা পরিবর্তিত হয়। ইহার ফলে প্রতিবিম্বের মৃদু আন্দোলন হইতেছে বলিয়া মনে হয়, যেমন, বায়ুপ্রবাহের ফলে জলাশয়ের জল কম্পিত হইলে প্রতিবিম্ব আস্তে আস্তে আন্দোলিত হয়। গাছ হইতে সোজাসুজি যে রশ্মি চোখে পৌছায় তাহার ফলে গাছটিকে যথাস্থানে দেখা যায়। এই সব মিলিয়া মানুষের চোখে জলাশয় কর্তৃক প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হইয়াছে এইরূপ দৃষ্টিভ্রম হয়।

শীতপ্রধান দেশের মরীচিকা :

শীতের দেশে বায়ুস্তরের ঘনত্ব যত উপরে যাওয়া যায় তত কমিয়া যায়। সুতবাং কোন দূরের বস্তু হইতে যে আলোকরশ্মি উর্দ্ধগ হয় তাহা ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাওয়ার ফলে অভিলম্ব হইতে দূরে প্রতিসৃত হয় এবং এই-ভাবে ক্রমশ আপতন কোণ বৃদ্ধি পাইয়া অবশেষে একটি স্তর হইতে পূর্ণ প্রতিফলন হয়। তখন রশ্মি নিম্নগামী হইয়া মানুষের চোখে পৌছায় এবং মনে হয় উপরের কোন এক বিন্দু হইতে আসিতেছে। এইরূপে সমগ্র বস্তুটির একটা উল্টা প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলন্ত অবস্থায় দেখা যায় (3ফ নং চিত্র)।

শীতপ্রধান দেশের মরীচিকা
চিত্র 3ফ

3-17. প্রিজমের দ্বারা আলোকের প্রতিসরণ (**Refraction of light through a prism**) **ঃ**

<u>প্রিজম্</u> ঃ ইহা একটি কাচের ত্রিভুজাকৃতি ফলক যাহার তলগুলি পরস্পরের সহিত আনত (inclined) এবং যাহার প্রান্তরেখাগুলি (edges) সব পরস্পর সমান্তরাল। 3ব নং চিত্রে একটি প্রিজমের ছবি দেখানো হইয়াছে। EH প্রিজমের একটি প্রান্তরেখা। ABC প্রিজমের একটি ছেদ (section)। ইহাকে প্রিজমের **প্রধান ছেদ** (principal section) বলা হয়। ইহা প্রিজমের তিনটি প্রান্তরেখার সহিত লম্বভাবে অবস্থান করে।

প্রিজম ; ABC প্রিজমের প্রধান ছেদ
চিত্র 3ব

আমরা যখন প্রিজমের দ্বারা আলোকের প্রতিসরণ আলোচনা করিব তখন সর্বদা মনে রাখিব যে রশ্মি প্রিজমের প্রধান ছেদের তলে (plane) অবস্থান করিতেছে। BAC কোণকে প্রিজমের **প্রতিসারক <u>কোণ</u>** ও BC-কে **ভূমি** বলা হয়। AB অথবা AC-কে প্রতিসারক পৃষ্ঠ (refracting surface) বলা হয়।

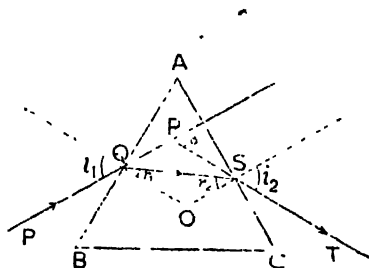
ধরা যাউক, ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ। PQ একটি রশ্মি AB তলে Q বিন্দুতে আপতিত হইল (3ভ নং চিত্র)। এখন আলোক-রশ্মি কাচ মাধ্যমে প্রবেশ করিলে প্রতিসৃত হইবে এবং QS প্রতিসৃত রশ্মি AB তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের দিকে সরিয়া যাইবে। আলোক রশ্মি AC তলে S বিন্দুতে আপতিত হইয়া পুনরায় বায়ুমাধ্যমে নির্গত হইবে। ইহার ফলে রশ্মি পুনরায় প্রতিসৃত হইবে এবং AC তলে অঙ্কিত অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া গিয়া ST সরলরেখায় নির্গত হইবে। সুতরাং PQST হইল আলোক-রশ্মির সমগ্র পথ। ইহা স্পষ্ট বোঝা যায় যে প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে রশ্মি প্রিজমের ভূমির (BC) দিকে বাঁকিয়া যায়

প্রিজমের মধ্য দিয়া রশ্মির গতিপথ
চিত্র 3ভ

অর্থাৎ রশ্মিটির পথের <u>চ্যুতি</u> (<u>deviation</u>) ঘটে। আপতিত রশ্মি PQ-র

অভিমুখ ও নির্গম রশ্মি ST-র অভিমুখ পরস্পরের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে **চ্যুতি-কোণ** (angle of deviation) বলে।

চ্যুতি-কোণের পরিমাপ :

মনে কর, ABC প্রিজমের ভিতর দিয়া PQST হইল আলোক-রশ্মির সমগ্র পথ (3য় নং চিত্র)। PQ ও TS-কে বর্ধিত করিলে উহারা যে-কোণ উৎপন্ন করে (δ) উহাই হইল রশ্মির চ্যুতি-কোণ। AB তলে PQ রশ্মির আপতন কোণ i_1 এবং প্রতিসরণ কোণ r_1 এবং AC তলে QS রশ্মির আপতন কোণ r_2 এবং নির্গম কোণ i_2 এখন RQS ত্রিভুজের QR বাহু বর্ধিত করা হইয়াছে বলিয়া।

চ্যুতি-কোণের পরিমাপ
চিত্র 3য়

বহিঃস্থকোণ $\delta = \angle RQS + \angle RSQ$

$$= (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$

$$= i_1 + i_2 - (r_1 + r_2)$$

এখন, AQOS চতুর্ভুজের সমস্ত কয়টি কোণের সমষ্টি $= 4\ rt\ \angle s$

অর্থাৎ, $\angle A + \angle O + \angle AQO + \angle ASO = 4\ rt \angle s$

কিন্তু $\angle AQO + \angle ASO = 2\ rt \angle s$ [কারণ QO এবং SO যথাক্রমে AB ও AC তলে লম্ব]

$\therefore \quad \angle A + \angle O = 2\ rt \angle s$

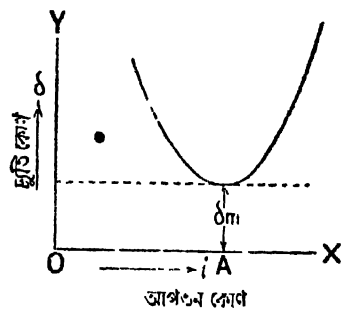
আবার QSO ত্রিভুজে $\angle O + \angle r_1 + \angle r_2 = 2\ rt\ \angle s$

$\therefore \quad \angle A = \angle r_1 + \angle r_2$

সুতরাং, $\delta = i_1 + i_2 - A$.

8.14. ন্যূনতম চ্যুতির কোণ (Angle of minimum deviation).

উপরোক্ত সমীকরণ হইতে ইহা স্পষ্ট বোঝা যায় যে কোন নির্দিষ্ট প্রতিসারক কোণের প্রিজমের বেলাতে চ্যুতি কোণ δ আপতন কোণ i_1-এর

উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ, আপতন কোণ পরিবর্তন করিলে চ্যুতি-কোণও পরিবর্তিত হয়। কিন্তু দেখা গিয়াছে যে একটি নির্দিষ্ট আপতন কোণে চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম (minimum) হয়। অর্থাৎ, আপতিত রশ্মি ঐ নির্দিষ্ট কোণ অপেক্ষা বেশী অথবা কম কোণে আপতিত হইলে চ্যুতি-কোণ সর্বদা বাড়িয়া যায়। একটি রশ্মিকে বিভিন্ন আপতন কোণে একটি প্রিজমের উপর ফেলিয়া উহার বিভিন্ন চ্যুতি-কোণ নির্ণয় করিয়া আপতন-কোণ (i) এবং চ্যুতি-কোণ (δ)-এর ভিত্তিতে একটি লেখ (graph) টানিলে উহা 3য নং চিত্রের ন্যায় হইবে। ইহাকে i—δ লেখ বলা হয়। চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায় একটি নির্দিষ্ট আপতন কোণে (চিত্রে OA) রশ্মি আপতিত হইলে চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম (δ_m) হয়। অন্য যে-কোন আপতন কোণের বেলাতে চ্যুতি-কোণ বেশী হয়। চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম হইলে উহাকে **ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ** বলা হয় এবং কোন প্রিজমকে যদি এমনভাবে স্থাপিত করা যায় যে, আপতিত রশ্মি উক্ত নির্দিষ্ট আপতন কোণে প্রিজমের উপর পড়িয়া যাহাতে চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম হইবে তখন প্রিজমের ঐ অবস্থানকে **ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থান** (position of minimum deviation) বলে।

চিত্র 3য

3-19. প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক (Refractive index of the material of a prism) :

আমরা দেখিয়াছি, $\delta = i_1 + i_2 - A$

এবং $A = r_1 + r_2$

যদি কোন রশ্মি কোন প্রিজমের ভিতর দিয়া ন্যূনতম চ্যুতিতে প্রতিসৃত হয়, তবে পরীক্ষা দ্বারা এবং গাণিতিক হিসাবের দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে, আপতন কোণ i_1 = নির্গম কোণ i_2 – অর্থাৎ, যখন চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম

(δ_m) তখন $i_1=i_2$. আবার ইহা সহজেই বোঝা যায় যে যখন $i_1=i_2$, তখন $r_1=r_2$; সুতরাং,

$$A=2r_1 \text{ এবং } r_1=\frac{A}{2}$$

$$\text{এবং } \delta_m=2i_1-A$$

$$\text{or, } i_1=\frac{\delta_m+A}{2}$$

এখন AB তলে প্রতিসরণ বিবেচনা করিলে আপতন কোণ $=i_1$ এবং প্রতিসরণ কোণ $=r_1$. যদি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 'μ' বলা হয় তবে

$$\mu=\frac{\sin i_1}{\sin r_1}=\frac{\sin\frac{\delta_m+A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

সুতরাং ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ (δ_m) এবং প্রিজমের প্রতিসারক কোণ (A) জানা থাকিলে উপরোক্ত সমীকরণের সাহায্যে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক সহজেই নির্ণয় করা যাইবে।

উদাহরণ ঃ

(1) একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং উক্ত প্রিজমের ভিতর দিয়া কোন রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ 30°. প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

[The refracting angle of a prism is 60° and the angle of minimum deviation of a ray passing through the prism is 30°. What is the R. I. of the material of the prism ?]

উ। এস্থলে $A=60°$ এবং $\delta_m=30°$

$$\text{আমরা জানি, } \mu=\frac{\sin\frac{\delta_m+A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

$$\text{অথবা, } \mu=\frac{\sin\frac{30+60}{2}}{\sin\frac{60}{2}}=\frac{\sin 45}{\sin 30}=\frac{1}{\sqrt{2}}\times 2=\sqrt{2}$$

(2) কোন প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5. উহার ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ কত ? [sin 48° 36′ = 0·75]

[The refracting angle of a prism is 60° and the R. I. of its material is 1·5. What is the angle of minimum deviation ? sin 48° 36′ = 0·75]

উ। . এস্থলে $A = 60°$ এবং $\mu = 1·5$

আমরা জানি, $$\mu = \frac{\sin\frac{\delta_m + A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

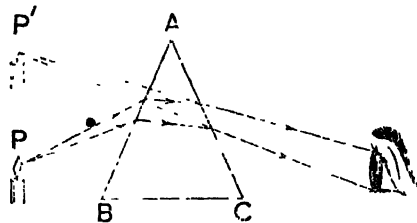
$$\therefore\ 1·5 = \frac{\sin\frac{\delta_m + 60}{2}}{\sin\frac{60}{2}} = \frac{\sin\frac{\delta_m + 60}{2}}{\sin 30} = \frac{\sin\frac{\delta_m + 60}{2}}{\frac{1}{2}}$$

or, $0·75 = \sin\frac{\delta_m + 60}{2}$ or, $\sin 48° 36' = \sin\frac{\delta_m + 60}{2}$

$\frac{\delta_m + 60}{2} = 48° 36'$ or, $\delta_m = 97° 12' - 60° = 37° 12'$.

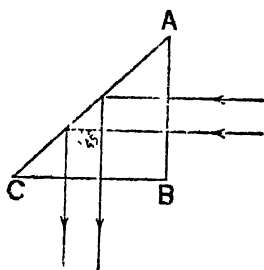
3-20. প্রিজম কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন (Formation of image by a prism) :

বস্তু হইতে আলোক-রশ্মি নির্গত হইয়া কোন মাধ্যম কর্তৃক প্রতিসৃত হইলে সদ বা অসদ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়, ইহা আমরা জানি ; যেহেতু, প্রিজম একটি প্রতিসারক মাধ্যম (refracting medium), সেই হেতু প্রিজম বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করিতে পারে। কিন্তু সাধারণভাবে কোন বিন্দু-প্রভব হইতে আলোক-রশ্মি নির্গত হইয়া প্রিজম কর্তৃক প্রতিসৃত হইলে ঐ প্রতিসৃত রশ্মিগুলি কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে মিলিত হয় না বা নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে অপসৃত (diverge) হইতেছে বলিয়াও মনে হয় না। সুতরাং সাধারণভাবে প্রিজম কোন প্রভবের প্রতিবিম্ব গঠন করিবে না। কিন্তু যদি প্রিজমকে ন্যূনতম চ্যুতি-

প্রিজম কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন
চিত্র 3ব

কোণে স্থাপন করা যায় তবে ব্যাপারটা একটু অন্যরকম হইবে। মনে কর, একটি মোমবাতির শিখার যে কোন বিন্দু P হইতে একগুচ্ছ অপসারী আলোক-রশ্মি ABC প্রিজমের উপর পড়িল। প্রিজমটি ঐ রশ্মিগুচ্ছের মধ্যরশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি-কোণে স্থাপিত (3র নং চিত্র)। এক্ষেত্রে রশ্মিগুলি প্রতিসৃত হইবার পর চোখে এমনভাবে গিয়া পৌঁছাইবে যে মনে হইবে যেন উহারা P′ বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে। অর্থাৎ P′ বিন্দু হইবে P বিন্দুর অসদ বিম্ব। এইরূপ হইবার কারণ এই যে প্রিজমটি রশ্মিগুচ্ছের মধ্যরশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি-কোণে স্থাপিত বলিয়া প্রতিসৃত হইবার পরও ঐ রশ্মিগুলির পারস্পরিক ব্যবধান প্রায় পূর্বের মত থাকিবে। সুতরাং, প্রিজমটিকে ঐভাবে রাখিলে বস্তুর স্পষ্ট প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে।

3·21 প্রিজমের কয়েকটি বিশেষ ব্যবহার (Some specific uses of prism) :

(1) পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম (Total reflection prism) :

ABC একটি সমদ্বিবাহু সমকোণী (right angled isosceles) কাচের প্রিজম। একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি লম্বভাবে AB তলে আপতিত হইলে রশ্মিগুলি সোজা প্রিজমের ভিতর প্রবেশ করিল এবং AC তলে আপতিত হইল (3ল নং চিত্র)। এস্থলে রশ্মির আপতন কোণ 45°, কিন্তু কাচ ও বায়ুর সংকট কোণ 41°45′. সুতরাং, রশ্মিগুলির কাচ হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিবার সময় সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী কোণে আপতিত হইতেছে এই অবস্থায় রশ্মিগুলির আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইবে এবং BC তলে লম্বভাবে আপতিত হইয়া দিক পরিবর্তন না করিয়া বায়ুতে নির্গত হইবে। অতএব দেখা যাইতেছে যে আপতিত সমান্তরাল রশ্মিগুলি মোট 90° ঘুরিয়া পুনরায় সমান্তরালভাবে নির্গত হইতেছে। এই ধরনের প্রিজমকে পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম বলা হয়।

পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম
চিত্র 3ল

পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজমের কার্যপ্রণালীর সহিত সমতল দর্পণের কার্যপ্রণালীর অবিকল মিল আছে। কারণ, যদি মনে করা যায় যে ABC প্রিজমের

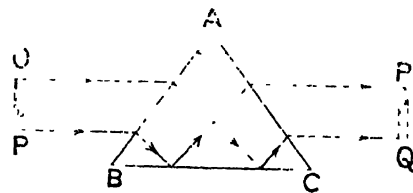
পরিবর্তে AC একটি সমতল দর্পণ তবে উপরোক্ত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ ঠিক পূর্বের মতনই প্রতিফলিত হইবে। এই কারণে অনেক আলোকীয় যন্ত্রে (optical instrument) রশ্মির প্রতিফলনের জন্য সমতল দর্পণের পরিবর্তে পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম ব্যবহার করা হয়। কারণ, **সমতল দর্পণ অপেক্ষা প্রিজমের কতগুলি সুবিধা আছে।** সুবিধাগুলি নিম্নরূপ :

(*a*) সমতল দর্পণে সম্মুখের এবং পিছনের দুইটি তলে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের দরুন প্রতিবিম্ব খুব উজ্জ্বল হয় না এবং একের অধিক প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়া বিভ্রান্তির সৃষ্টি করে। পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজমে রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হয় বলিয়া একটি প্রতিবিম্ব তৈয়ারী হয় এবং উহা খুব উজ্জ্বল হয়।

(*b*) সমতল দর্পণে পারদের প্রলেপ থাকে। ঐ প্রলেপ নষ্ট হইয়া গেলে প্রতিবিম্ব অস্পষ্ট হয়। পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজমে ঐরূপ কোন প্রলেপ না থাকায় প্রতিবিম্ব সর্বদা স্পষ্ট থাকে।

(*c*) সমতল দর্পণে বিক্ষেপণ (scattering) দ্বারা কিছু আলোক নষ্ট হয় কিন্তু প্রিজমে উহা হয় না।

(ii) **প্রতিবিম্ব খাড়া করিবার প্রিজম** (Erecting prism) :

এই প্রিজমের সাহায্যে কোন উল্টা প্রতিবিম্বকে খাড়া বা সোজা করা যায়। ইহা আর কিছু নয়—পূর্বোক্ত সমদ্বিবাহু সমকোণী প্রিজম। ABC হইল প্রিজম (১৩ নং চিত্র)। মনে কর QP একটি সোজাসুজি উল্টানো প্রতিবিম্ব। উহা হইতে আলোকরশ্মি প্রিজমের অভ্যন্তরে প্রতিসৃত হইয়া BC তলে আপতিত হইলে আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইবে। ফলে রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হইবে। রশ্মিগুলি যখন প্রিজম হইতে নির্গত হইবে তখন উহাদের দিক চ্যুতি হইবে না কিন্তু অবস্থান উল্টাইয়া যাইবে (চিত্র দ্রষ্টব্য)। ফলে, PQ প্রতিবিম্ব খাড়া দেখা যাইবে।

প্রতিবিম্ব খাড়া করিবার প্রিজম
চিত্র ১৩

দূরবীক্ষণ, বাইনোকুলার, পেরিস্কোপ প্রভৃতি নানাপ্রকার আলোকীয় যন্ত্রে উপরোক্ত প্রিজম ব্যবহার করিয়া উল্টানো প্রতিবিম্বকে খাড়া করা হয়।

সারাংশ

কোন স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যম হইতে আসিয়া আলোকরশ্মি অপর কোন মাধ্যমে তির্যকভাবে আপতিত হইলে দুই মাধ্যমের বিভাগ-তলে রশ্মির গতির অভিমুখের পরিবর্তন হয়। ইহাকে আলোকের প্রতিসরণ বলে।

প্রতিসরণের সূত্র :

(1) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে বিভেদ-তলের উপরে অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি সবদা এক সমতলে থাকে।

(2) আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয়।

হার্টল-এর আলোকচক্র বা পিন দ্বারা উপরোক্ত সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা করা যায়।

প্রতিসরাঙ্ক : যদি কোন আলোক-রশ্মি 'a' মাধ্যম হইতে আসিয়া 'b' মাধ্যমের উপর i কোণে আপতিত হয় এবং r কোণে 'b' মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তাহা হইলে

$$ {}_a\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r} $$

${}_a\mu_b$ কে 'a' মাধ্যমের সাপেক্ষ 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলে।

সাধারণভাবে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিলে বুঝিতে হইবে যে, আলো বায়ু হইতে আসিয়া উক্ত মাধ্যমে প্রতিসৃত হইয়াছে।

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন :

যখন আলোক-রশ্মি ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যায় এবং উভয় মাধ্যমের সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী কোণে আপতিত হয়, তখন রশ্মির আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হয়।

মরুঅঞ্চলে বা শীতপ্রধান দেশে দূরের বস্তু সম্বন্ধে যে দৃষ্টিভ্রম হয়, উহা আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত। এই দৃষ্টিভ্রমকে মরীচিকা বলে।

প্রিজম একটি ত্রিভুজাকৃতি কাচের ফলক। প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে আলোক-রশ্মির পথের চ্যুতি হয় এবং রশ্মি প্রিজমের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায়।

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের প্রতিসরণ কাহাকে বলে? নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কিরূপে আলোকের প্রতিসরণ হয় তাহা চিত্র আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও : (ক) বায়ু হইতে কাচে, (খ) জল হইতে বায়ুতে।

[What is refraction of light ? Explain, by suitable diagrams, how refraction of light takes place in the following cases—(a) from air to glass and (b) from water to air.]

2. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির জবাব দাও :—

(ক) একটি দণ্ডকে আংশিক জলে ডুবাইলে বাঁকা দেখায় কেন ?

(খ) একটি জলপূর্ণ পাত্র একটু অগভীর মনে হয় কেন ?

(গ) সূর্য অস্ত গেলেও কিছুক্ষণ দেখা যায় কেন ?

[Answer the following questions :—

(*a*) A stick immersed partly in water and viewed obliquely appears to be bent at the surface of water. Why ? [*H. S. (comp)*, *1962*]

(*b*) A vessel full of water appears shallower than it is. Why ?
[*H. S. (comp) 1960*]

(*c*) The setting sun can be seen when it is already below the horizon. Why ?]

3. প্রতিসরণের সূত্র কি ? উহাদের সত্যতা পরীক্ষা করিবে কিরূপে ?

[What are the laws of refraction ? How would you verify them experimentally ?] [*Cf. H. S. (comp) 1960*]

4. প্রতিসরাঙ্ক বলিতে কি বোঝ ? কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 বলিলে কি বোঝায় ?

[What do you mean by refractive index ? What does the statement that refractive index of glass is 1.5 mean ?] [*Cf. H. S. Exam. 1962*]

5. আলোক সাপেক্ষে এক মাধ্যম অপর মাধ্যম অপেক্ষা বেশী ঘন বলিতে কি বুঝায় ? এই ঘনত্বের সহিত মাধ্যমের আপেক্ষিক গুরুত্বের সম্পর্ক কি ? নিম্নলিখিত পদার্থগুলিকে আলোক সাপেক্ষে উহাদের ঘনত্বের ক্রমবর্ধমান মান অনুযায়ী সাজাও :—(ক) কাচ (খ) তার্পিন তেল (গ) বরফ এবং (ঘ) জল।

[What do you understand by a medium being optically denser than another ? What relation has this density with the specific gravity of the medium ? Arrange the following substances in order of increasing optical density :—

(*a*) glass (*b*) turpentine (*c*) ice and (*d*) water.]

6. কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সহিত ঐ মাধ্যমে আলোকের গতিবেগের সম্পর্ক কি ? নিম্নলিখিত মাধ্যমগুলির কোনটির ভিতর দিয়া আলোকের গতিবেগ সর্বাপেক্ষা বেশী এবং কোনটির ভিতর সর্বাপেক্ষা কম :—(ক) বায়ু (খ) জল (গ) কাচ ? লালবর্ণের আলোকের গতিবেগ বেগুনী বর্ণের চাইতে কম না বেশী ?

[How is the refractive index of a medium related to the velocity of light in that medium ? In which of the following media does light travel fastest and in which slowest :—(*a*) air (*b*) water (*c*) glass ? Does red light travel faster or slower than the violet light ?]

7. জ্যামিতিক অঙ্কন দ্বারা প্রতিসৃত রশ্মির পথ কিরূপে নির্ণয় করা যায় তাহা ব্যাখ্যা কর। একটি জলাশয়ের জলের উপরিতল হইতে 6 inches উঁচুতে একটি ক্ষুদ্র বস্তু O আছে। O হইতে দুইটি রশ্মি নির্গত হইয়া একটি জলতলে অভিলম্বভাবে এবং অপরটি 80° আপতন কোণে

আপতিত হইল। স্কেল অনুযায়ী জ্যামিতিক অঙ্কন দ্বারা ঐ রশ্মি দুইটির প্রতিসৃত রশ্মির পথ নির্ণয় কর। জলের প্রতিসরাঙ্ক $= \frac{4}{3}$.

[Explain how the path of a refracted ray may be determined by geometrical construction.

A small object O is situated 6 inches above the surface of water in a pond. Construct on a scale diagram the paths of two refracted rays corresponding to incident rays from O, one perpendicular to the surface of water and the other having an angle of incidence 30°. Refractive index of water $= \frac{4}{3}$.]

8. একটি সমান্তরাল ফলকের ভিতর দিয়া আলোক-রশ্মির প্রতিসরণ হইলে আপতিত রশ্মি ও নির্গম রশ্মি পরস্পরের সমান্তরাল হয়, ইহা প্রমাণ কর। ঐ ক্ষেত্রে রশ্মির পার্শ্ব-সরণ কত হইবে ?

[Prove that when a ray is refracted through a parallel slab, the incident ray and the emergent ray are parallel to each other. What is the lateral shift of the ray ?] [*Cf. H S Exam. 1963*]

9 'a' এবং 'b' দুইটি মাধ্যম। প্রমাণ কর, $_a\mu_b = \frac{\text{'}b\text{' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক}}{\text{'}a\text{' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক}}$

বায়ু সাপেক্ষ জলের প্রতিসরাঙ্ক 1·33 এবং বায়ু সাপেক্ষ কোন তেলের প্রতিসরাঙ্ক 1·45 ; জল সাপেক্ষ তেলের এবং তেল সাপেক্ষ জলের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

['a' and 'b' are two media Prove that $_a\mu_b = \frac{\text{refractive index of 'b'}}{\text{refractive index of 'a'}}$

Refractive index of water with respect to air is 1·33 and that of an oil with respect to air is 1·45 What are the refractive indices of oil with respect to water and water with respect to oil ?] [Ans. 1·07 ; 0·9]

10. একটি কাচফলকের ভিতর দিয়া কোন বস্তুকে সোজাসুজি দেখিলে বস্তুর প্রকৃত অবস্থান ও আপাত অবস্থানের ভিতর সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[Obtain a relation between the real and apparent positions of an object when it is viewed normally through a block of glass.] [*H. S Exam 1964*]

11. 4 cm. উচ্চ একটি কাচফলকের তলায় একটি ছবি আটকানো আছে। ছবিটিকে সোজাসুজি দেখিলে কতটা উঠিয়া আছে বলিয়া মনে হইবে ? কাচের প্রতিসরাঙ্ক =1·6.

[A picture is stuck at the bottom of a block of glass 4 cm high. How far will it appear to be raised when viewed perpendicularly ? R. I. of glass=1·6.] [Ans. 1·5 cm.]

12. 1 ইঞ্চি পুরু একটি কাচের তলায় একটি চিহ্ন আছে। চিহ্নটিকে সোজাসুজি দেখিলে মনে হয় কাচের উপরতল হইতে উহা 0·64 ইঞ্চি তলায়। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

[A dot lies at the bottom of a glass slab 1 inch thick. When the dot is viewed normally, it appears to be 0·64 inch below the upper surface of the block. What is the R I. of glass ?] [Ans. 1·57]

13. বায়ু এবং অন্য একটি ঘন মাধ্যমের বিভেদ-তল হইতে 12′ দূরে বায়ুমধ্যে একটি বৈদ্যুতিক বাতি রাখা আছে। ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 ; বিভেদ-তল হইতে 10′ নীচে ঘন মাধ্যমের মধ্যে চোখ রাখিয়া বাতিটিকে দেখিলে বাতিটি কোথায় অবস্থিত বলিয়া মনে হইবে ?

[An electric bulb is placed in air at a distance of 12′ from the surface of separation of a denser medium of refractive index 1·5. It is viewed through the denser medium from a distance of 10′ below the surface of separation. Find the distance where the bulb will now be seen]

[Ans. চোখ হইতে 28′ দূরে]

14. একটি জলপূর্ণ পাত্রের তলায় একটি বস্তু আছে এবং একটি লোক এমনভাবে দাড়াইয়া আছে যে ঠিক পাত্রের কিনারা দিয়া বস্তুটিকে দেখিতে পায়। এখন যদি পাত্রের জল সরাইয়া ফেলা হয় তবে সে কি দেখিবে ?

[A substance is placed at the bottom of a basin full of water and a person stands in such a position that he can just see it over the edge of the basin. While he is looking, the water is drawn off How will this affect his view ?]

15. একটি কাচের চৌবাচ্চায় একটি মাছ আছে। জলের তলের উপর হইতে কোন লোক তাকাইয়া চৌবাচ্চায় দুইটি মাছ দেখিতেছে। ইহা কিরূপে সম্ভব হইতে পারে বুঝাইয়া দাও এবং ইহার একটি নক্শা আঁক।

[A fish swims in a glass tank , a person whose eyes are above the level of the water seems to see two fish Draw a diagram to illustrate this and give any explanation you think necessary]

16. একটি আলোক-রশ্মি একটি আয়তাকার কাচের ব্লকের অভ্যন্তরে ঢুকিয়া নীচু তলে আপতিত হইল। উহার আপতন কোণ 80° ; রশ্মির কিছু অংশ নীচুতল কর্তৃক কাচের ভিতর প্রতিফলিত হইল এবং বাকী অংশ বাহিরে নির্গত হইল। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হইলে নির্গত রশ্মি ও প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয়ের মধ্যে কোণ নির্ণয় কর। (sin 48°40′ =0·75)

[A ray of light travelling within a rectangular glass block falls on one of the faces of the block at an angle of incidence 80° Some of the light is reflected internally and the rest emerges into air. Given that the refractive index of gales for the light is 1·5, calculate the angle between the internally reflected ray and the emergent ray. sin 48°40′=0·75]

[Ans. 101°20′]

17. একটি সমান্তরাল তল-বিশিষ্ট কাচপ্লেটের মধ্য দিয়া লম্বভাবে একটি বস্তুকে দেখা হইতেছে। প্লেটের বেধ 'd' এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক μ হইলে প্রমাণ কর যে দর্শকের দিকে বস্তুর আপাত সরণ $=\frac{(\mu-1)d}{\mu}$.

[An object is viewed through a plane parallel plate of galss of refractive index μ and thickness 'd', the line of sight being normal to the plate. Prove that the object is apparently displaced towards the observer through a distance $\frac{(\mu-1)d}{\mu}$.]

18. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ :—

(ক) একটি পুরু কাচের দর্পণে বস্তুর অনেকগুলি প্রতিবিম্ব দেখা যায় কেন ? (খ) নক্ষত্রগুলি ঝিকমিক্ করে কিন্তু গ্রহগুলির আলো স্থির কেন ? (গ) কাচ স্বচ্ছ কিন্তু কাচের গুঁড়া অস্বচ্ছ কেন ? কাচের গুঁড়ায় জল ঢালিলে উহা পুনরায় স্বচ্ছ হয় কেন ?

[Answer the following questions :--

(*a*) Why does a thick glass mirror form more than one image of an extended object (*H. S. Exam. 1963*) (*b*) Stars twinkle but planets emit steady light. Why ? (*c*) Glass is transparent but powdered glass is opaque. If water is sprinkled on powdered glass, it becomes transparent again. Why ?]

19. তুমি একটি অগভীর জলাশয়ের মাঝখানে দাঁড়াইয়া আছ যে-জলাশয়ের গভীরতা সর্বত্র সমান। কিন্তু তোমার মনে হইবে যে তুমি যেখানে দাঁড়াইয়া আছে সেখানকার গভীরতাই সর্বাপেক্ষা বেশী। এইরূপ হইবার কারণ ব্যাখ্যা কর।

[You are standing in a shallow pool of water which has the same depth everywhere But it appears deepest to you where you stand. Explain this.]
[*H S Exam. 1963*]

20. আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ও সংকট কোণ কাহাকে বলে পরিষ্কারভাবে বুঝাইয়া দাও। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে সংকট কোণ পাওয়া যাইবে কিনা বল :—

(ক) আলোক-রশ্মি বায়ু হইতে কাচে যাইতেছে।

(খ) আলোক-রশ্মি কাচ হইতে বায়ুতে যাইতেছে।

[Explain clearly what you mean by 'total internal reflection' and 'critical angle'. State whether critical angle is available in the following cases :-

(*a*) Light travels from air to glass.

(*b*) Light travels from glass to air.]

21. প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ এবং 'সংকট কোণ' ও 'আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন' ব্যাখ্যা কর। সংকট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের ভিতর সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[Define 'refractive index' and explain the terms 'critical angle' and 'total internal reflection'. Find a relation between critical angle and refractive index] [*H. S Exam., 1960, '62 (comp), 1963*]

22. (a) জলের প্রতিসরাঙ্ক 1·33 হইলে উহার সংকট কোণ কত হইবে ?

(b) বায়ু সাপেক্ষ কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হইলে উহাদের মধ্যে সংকট কোণ কত হইবে ?

[(a) What will be the critical angle of water if its R. I. is 1·33 ?

[Ans. 49°]

(b) If the refractive index of a medium with respect to air be $\sqrt{2}$, what will be their critical angle ?] [Ans. 45°]

23. নিম্নলিখিত প্রশ্নের জবাব লেখ :—

(ক) ভুসাকালি মাখা ধাতব বল জলে ডুবাইলে চকচকে দেখায় কেন ?

(খ) কাচের জানালায় ফাটল থাকিলে উহা চকচকে দেখায় কেন ?

(গ) একটি খালি কাচের নল জলপূর্ণ পাত্রে তির্যকভাবে রাখিলে নিমজ্জিত অংশ চকচকে দেখায় কেন ?

[Answer the following questions :—

(a) A smoked ball introduced in a beaker of water appears silvery white. Why ? [H. S. (comp) 1960]

(b) A crack in a glass pane when viewed from a suitable direction appears shining Why ?

(c) An empty test tube introduced in a beaker of water in a slanting position appears shining when looked from above. Why ?]

24 মরীচিকা কাহাকে বলে ? সুন্দর নক্সার সাহায্যে মরীচিকা কিরূপে সৃষ্টি হয় তাহা বর্ণনা কর।

[What is a mirage ? Explain by diagrams, how it is formed.]

25 একটি স্থির জলাশয়ের h গভীরতায় একটি মাছ আছে। প্রমাণ কর যে মাছের চোখে জলতল একটি গোল ছিদ্রযুক্ত আয়নার ন্যায় প্রতিভাত হইবে এবং ঐ ছিদ্রের ব্যাসার্ধ হইবে $h/\sqrt{\mu^2-1}$. জলের প্রতিসরাঙ্ক $=\mu$.

[A fish is at a depth of 'h' in a still pond Prove that the free surface of the pond will appear to the eye of the fish like a plane mirror with a circular hole and that the radius of the hole is $h/\sqrt{\mu^2-1}$. The R. I. of water $=\mu$]

26. বায়ু সাপেক্ষ জলের সংকট কোণ 48·5° হইলে প্রমাণ কর যে কোন ডুবুরীর নিকট জলতলের উপরিস্থ সকল বস্তু 97° কোণের একটি শঙ্কুর মধ্যে অবস্থিত বলিয়া মনে হইবে।

[If the critical angle of water relative to air be 48·5°, show that objects outside water will appear to a diver to be confined within a cone of angle 97°.] [H. S. (comp) 1963]

27. একটি মোমবাতিকে একটি প্রিজম ও একটি সমান্তরাল তলবিশিষ্ট কাচফলকের মধ্য দিয়া দেখিলে প্রতিবিম্বের অবস্থান কিরূপ হইবে ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও।

[A candle flame is viewed through (*a*) a prism (*b*) a parallel sided glass slab. Explain, with the aid of neat diagrams, the apparent positions of the candle as seen by the eye.]

28. প্রিজম কাহাকে বলে? প্রিজমের কয়েকটি বিশেষ ব্যবহার উল্লেখ কর। 60° প্রতিসারক কোণ-বিশিষ্ট একটি প্রিজমের কোন তলে একটি আলোকরশ্মি লম্বভাবে আপতিত হইলে রশ্মিটির গতিপথ আঁকিয়া দেখাও। ধর, কাচের সংকট কোণ 42° এবং প্রিজমের দুইটি তল আছে।

[What is a prism? Explain some specific use of prisms. Trace the path of a ray falling normally on a 60° prism of glass—the critical angle for glass being 42°. Consider any two faces of a prism.]

[*cf. H. S. Exam. 1960*]

29. একটি সমকোণী সমদ্বিবাহু কাচের প্রিজম দ্বারা কিরূপে একটি আলোকরশ্মির 90° চ্যুতি ঘটানো যায় তাহা চিত্র সহযোগে ব্যাখ্যা কর।

একই রকম বরফের একটি প্রিজম দ্বারা উপরোক্ত ঘটনা সম্ভব নয় কেন তাহা ব্যাখ্যা কর। কাচ-বায়ুর সংকট কোণ = 41°; বরফ-বায়ুর সংকট কোণ = 50°.

[Show, by means of a diagram, how a beam of light may be turned through 90° by an isosceles right-angled glass prism. Explain why the same effect could not be produced with a similar prism of ice. Critical angle for glass-air surface = 41°, critical angle for ice-air surface = 50°]

30. ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ কাহাকে বলে? প্রতিসারক কোণ ও ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ দ্বারা প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়ের সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।

[What is the angle of minimum deviation? Establish the equation of the R. I. of the material of a prism in terms of the refracting angle and the angle of minimum deviation]

[*cf. H. S. Exam. 1961*]

31. একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60 এবং আলোকরশ্মি ঐ প্রিজমের ভিতর যে ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ উৎপন্ন করে তাহা 40°. প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত?

(sin 50° = 0·766)

[The angle of a prism is 60° and the angle of minimum deviation of a ray through the prism is 40°. What is the R. I. of the material of the prism? sin 50° = 0·766]

[Ans. 1·53]

32. একটি কাচের প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 90° এবং অন্য দুইটি কোণ 45°; কোন আলোক-রশ্মি প্রিজমের কোন প্রতিসারক তলে লম্বভাবে আপতিত হইলে, কিভাবে প্রতিসৃত হইবে তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাও। ঐ ক্ষেত্রে চ্যুতি কত হইবে? উহার ব্যাখ্যা কর।

[A glass prism has a refracting angle of 90°, the other angles being 45°. Draw accurately the path of a ray incident normally on one of the refracting faces. What is the deviation produced? Explain the phenomenon involved.]

[*H. S. (comp) 1961*]

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

লেন্স ও উহার কার্যপ্রণালী

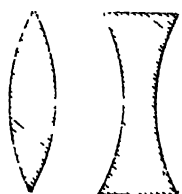
[Lenses and their actions]

4-1. সূচনা :

বহু পূর্বকাল হইতে লেন্সের ব্যবহারের প্রমাণ পাওয়া গিয়াছে। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে এক বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত করিবার যে ক্ষমতা লেন্সের আছে তাহা বহু পূর্ব হইতেই জানা ছিল এবং লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া বহুশত বৎসর পূর্বে "Burning glass" বা আতশী কাচের উদ্ভাবন হইয়াছিল। 1857 খ্রীষ্টাব্দে লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া একটি কাচের গোলক নির্মিত হইয়াছিল। এই গোলক দ্বারা সূর্যরশ্মিকে কেন্দ্রীভূত করিয়া ঘটা ও মিনিট চিহ্নিত একখানি কাগজ দগ্ধ করিয়া সময় নির্দেশ করিবার ব্যবস্থা করা হইয়াছিল। আধুনিক কালে চশমা, ক্যামেরা, অণুবীক্ষণ, দূরবীক্ষণ প্রভৃতি নানারকম প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতিতে লেন্সের বহুল ব্যবহার দেখিতে পাওয়া যায়।

4-2 লেন্সের সংজ্ঞা (Definition of lenses) :

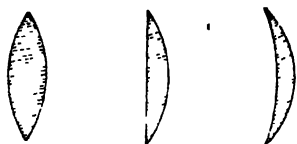
কোন স্বচ্ছ প্রতিসারক (refracting) মাধ্যমকে যদি দুইটি গোলীয় (spherical) অথবা একটি গোলীয় ও একটি সমতল তল দ্বারা সীমাবদ্ধ করা যায়, তবে সেই মাধ্যমকে **লেন্স** বলা হয়।

যে-লেন্সের মধ্যস্থল মোটা এবং প্রান্তের দিকটা সরু তাহাকে **উত্তল** (Convex) বা **অভিসারী** (Converging) **লেন্স** বলে [4ক (i) নং চিত্র]। যে-লেন্সের মধ্যস্থল সরু এবং প্রান্তের দিকটা মোটা তাহাকে **অবতল** (Concave) বা **অপসারী** (Diverging) **লেন্স** বলে [4ক (ii) নং চিত্র]।

উত্তল ও অবতল লেন্স

চিত্র 4ক

4-3. বিভিন্ন প্রকারের লেন্স (Different types of lenses) :

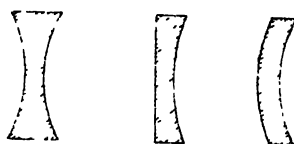
লেন্সের দুই তলের আকৃতির উপর নির্ভর করিয়া বিভিন্ন প্রকার লেন্স তৈয়ারী করা যাইতে পারে। যথা :—

(1) **উভোত্তল** (Double or bi-convex) : যে লেন্সের উভয়তল উত্তল তাহাকে উভোত্তল লেন্স বলে [4খ (i) নং চিত্র]।

(i) (ii) (iii)
বিভিন্ন প্রকারের উত্তল লেন্স
চিত্র 4খ

(2) **সমোত্তল** (Plano-convex) : যে লেন্সের একটি তল সমতল ও অপরটি উত্তল, তাহাকে সমোত্তল লেন্স বলে [4খ (ii) নং চিত্র]।

(3) **অবতলোত্তল** (Concavo-convex) : যে উত্তল লেন্সের এক দিক অবতল ও অন্যদিক উত্তল তাহাই অবতলোত্তল লেন্স [4খ (iii) নং চিত্র]।

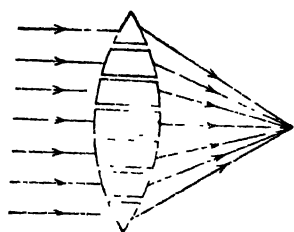
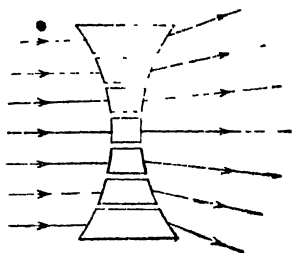
(4) **উভাবতল** (Double or bi-concave) : ইহার উভয়দিক অবতল [4গ (i) নং চিত্র]।

(5) **সমাবতল** (Plano-concave) : এই লেন্সের একদিক সমতল এবং অপরদিক অবতল [4গ (ii) নং চিত্র]।

বিভিন্ন প্রকারের অবতল লেন্স
চিত্র 4গ

(6) **উত্তলাবতল** (Convexo-concave) : যে অবতল লেন্সের একদিক উত্তল ও অন্যদিক অবতল তাহাই উত্তলাবতল লেন্স [4গ (iii) নং চিত্র]।

4-4. উত্তল লেন্সকে অভিসারী ও অবতল লেন্সকে অপসারী বলা হয় কেন ?

একটি উত্তল লেন্সকে 4ঘ (a) নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে তেমনি ছোট ছোট প্রিজমের সমষ্টি বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। এই প্রিজমগুলির ভূমি লেন্সের কেন্দ্রের দিকে অভিমুখী। আমরা জানি, আলোক-রশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া গেলে প্রিজমের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায়। সুতরাং যদি একগুচ্ছ

সমান্তরাল রশ্মি লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে ছোট ছোট প্রিজম দ্বারা বিচ্যুত হইয়া রশ্মিগুলি একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হইবে অর্থাৎ রশ্মিগুলি অভিসারী হইবে [4ঘ (*a*) নং চিত্র দ্রষ্টব্য]। এইজন্য উত্তল লেন্সকে অভিসারী লেন্স বলা হয়।

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ উত্তল লেন্স দ্বারা অভিসারী এবং অবতল লেন্স দ্বারা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়

চিত্র 4ঘ

ঠিক একইভাবে অবতল লেন্সকে ছোট ছোট প্রিজমে ভাগ করিলে প্রিজম-গুলির ভূমি লেন্সের প্রান্তের দিকে অভিমুখী হইবে। সুতরাং, এক্ষেত্রে রশ্মি-গুলির চ্যুতি বিপরীত হইবে [4ঘ (*b*) নং চিত্র]। ফলে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর মনে হইবে যেন একটি বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে অর্থাৎ উহা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে। এই কারণে অবতল লেন্সকে অপসারী লেন্স বলা হয়।

4-5. লেন্স সংক্রান্ত কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা :

(i) **বক্রতা-কেন্দ্র** (Centre of curvature) :

লেন্সের উভয়তলই যদি গোলীয় হয় তবে উহারা প্রত্যেকে একটি নির্দিষ্ট গোলকের (sphere) অংশ হইবে। ঐ গোলকের কেন্দ্রকে ঐ তলের বক্রতা-কেন্দ্র বলা হয়। যেমন, LN লেন্সের উভয়তলই গোলীয় (4ঙ নং চিত্র)। LMN যে গোলকের অংশ (কাটা লাইন দিয়া দেখানো হইয়াছে) উহার কেন্দ্র C_1. সুতরাং LMN তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইবে C_1 বিন্দু। ঐরূপ LPN তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইল C_2 বিন্দু।

যদি লেন্সের কোন একটি তল গোলীয় না হইয়া সমতল হয় তবে উহার বক্রতা কেন্দ্র অসীমে (infinity) অবস্থিত হইবে।

(ii) **বক্রতা-ব্যাসার্ধ** (Radius of curvature) :

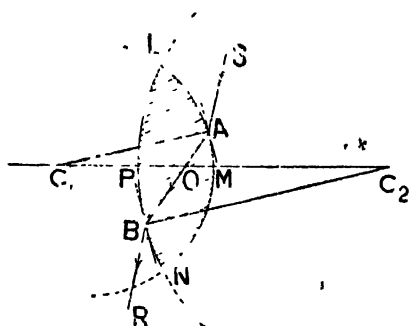
লেন্সের কোন তল যে গোলকের অংশ হইবে ঐ গোলকের ব্যাসার্ধকে ঐ তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ বলা হয়। LMN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ C_1M এবং LPN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ হইবে C_2P (4৬ নং চিত্র)।

(iii) **প্রধান অক্ষ** (Principal axis) :

যদি লেন্সের দুইতল গোলীয় হয় তবে উক্ত তলদ্বয়ের বক্রতা-কেন্দ্র দুইটিকে সংযুক্ত করিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় উহাকে ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ বলে। 4৬ নং চিত্রে C_1 এবং C_2 দুইতলের দুইটি বক্রতা-কেন্দ্র। সুতরাং C_1PMC_2 রেখা LN লেন্সের প্রধান অক্ষ (4৬ নং চিত্র)।

যদি লেন্সের একটি তল গোলীয় এবং অপরটি সমতল হয় তবে গোলীয় তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইতে সমতল তলের উপর লম্ব টানিলে উহাই ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ হইবে।

(iv) **আলোক-কেন্দ্র** (Optical centre) :

যদি কোন আলোক-রশ্মি লেন্সের যে-কোন তলে এমন ভাবে আপতিত হয় যে লেন্সের ভিতর দিয়া গিয়া দ্বিতীয় তল হইতে নির্গত হইবার সময় উহা আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে নির্গত হয় তবে লেন্সের ভিতর ঐ রশ্মির গতিপথ প্রধান অক্ষকে যে-বিন্দুতে ছেদ করে সেই বিন্দুকে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র বলে।

O বিন্দু লেন্সের আলোক-কেন্দ্র

চিত্র 4৬

4৬ নং চিত্রে SA একটি আলোক-রশ্মি LMN তলে A বিন্দুতে আপতিত হইয়া লেন্সের ভিতরে AB পথে গমন করিল এবং BR পথে দ্বিতীয় তল হইতে SA অভিমুখের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল। এক্ষেত্রে AB এবং প্রধান অক্ষ C_1C_2-এই রেখাদ্বয়ের ছেদ-বিন্দু O হইবে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র।

এখানে একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য এই যে, আপতিত রশ্মি SA এবং নির্গম (emergent) রশ্মি BR পরস্পরের সমান্তরাল বটে কিন্তু উহারা পরস্পর হইতে খানিকটা পাশে সরিয়া যায়—এক লাইনে থাকে না। এই পার্শ্ব-সরণ (lateral displacement) লেন্স মোটা হইলে বাড়িয়া যায় এবং লেন্স সরু হইলে কমিয়া যায়। খুব সরু লেন্সের বেলাতে এই পার্শ্ব-সরণ এতই নগণ্য যে SA, AB এবং BR একই সরলরেখা বলিয়া ধরা যাইতে পারে। এই কারণে সরু লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে :—

সরু লেন্সের বেলাতে আলোক-কেন্দ্র ইহার প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত এমন এক বিন্দু যে উহার ভিতর দিয়া কোন আলোকরশ্মি গেলে উহার কোন চ্যুতি বা সরণ হয় না—উহা সোজা পথে লেন্সের ভিতর দিয়া চলিয়া যায়।

[**দ্রষ্টব্য :** যদি লেন্সের উভয় তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ সমান হয় তবে আলোক-কেন্দ্র উভয়তল হইতে সমদূরবর্তী হইবে। যদি বক্রতা-ব্যাসার্ধ সমান না হয় অথবা কোন তল সমতল হয় তবে আলোক-কেন্দ্র উভয়তল হইতে সমদূরবর্তী হইবে না।]

আলোক-কেন্দ্র একটি স্থির বিন্দু (Optical centre is a fixed point) :

যে কোন লেন্সের আলোক-কেন্দ্র লেন্সের আকৃতির উপর নির্ভর করিয়া একটি নির্দিষ্ট স্থানে অবস্থিত হইবে—অর্থাৎ ইহা একটি স্থির বিন্দু। নিম্নলিখিত উপায়ে ইহা প্রমাণ করা যায় :—

46 নং চিত্রে A ও B বিন্দুতে উভয় পৃষ্ঠে একটি করিয়া স্পর্শক-তল (tangent plane) টান। ঐ তলদ্বয়ের পরস্পরের সমান্তরাল হইবে, কারণ আমরা জানি সমান্তরাল তলবিশিষ্ট কাচফলক দ্বারা রশ্মি প্রতিসৃত হইলে আপতিত রশ্মি ও নির্গম রশ্মি সমান্তরাল হয়। এক্ষেত্রে আপতিত রশ্মি SA এবং নির্গমরশ্মি BR সমান্তরাল হওয়ায় লেন্সের ঐ অংশকে সমান্তরাল তলবিশিষ্ট কাচফলক বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। কাজেই A এবং B বিন্দুতে স্পর্শক-তলদ্বয় পরস্পরের সমান্তরাল হইবে। C_1A এবং C_2B সরলরেখাদ্বয় টান। C_1A হইল LMN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ এবং A বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক-তলের লম্ব। অনুরূপভাবে, C_2B হইল LPN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ এবং B বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক-তলের লম্ব। সুতরাং C_1A এবং C_2B পরস্পরের সমান্তরাল। এই সকল কারণের জন্য C_1AO এবং C_2BO ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ (similar)।

কাজেই, $\frac{OC_1}{OC_2}=\frac{C_1A}{C_2B}=\frac{C_1M}{C_2P}$ [$C_1A=C_1M$ কারণ একই গোলকের ব্যাসার্ধ]

$\therefore \frac{C_1M-OC_1}{C_2P-OC_2}=\frac{C_1M}{C_2P}$ [$C_2B=C_2P$ „ „ „ „]

অথবা $\frac{OM}{OP}=\frac{C_1M}{C_2P}$.

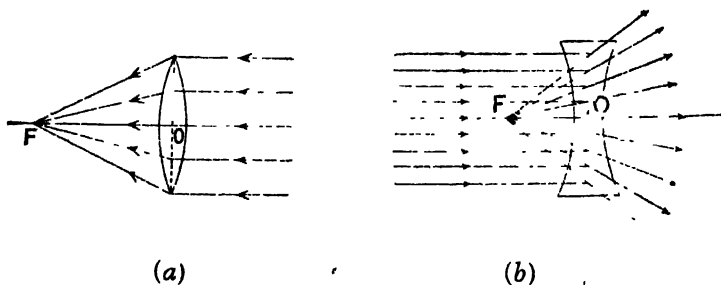
যদি LMN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ r_1 এবং LPN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ r_2 হয় তবে $C_1M=r_1$ এবং $C_2P=r_2$, সেক্ষেত্রে,

$$\frac{OM}{OP}=\frac{r_1}{r_2}$$

অর্থাৎ, আলোক-কেন্দ্র O-বিন্দু PM সরলরেখাকে এমন দুই অংশে ভাগ করিতেছে যাহাদের অনুপাত r_1 এবং r_2-এর অনুপাতের সমান। কিন্তু বক্রতা-ব্যাসার্ধ দুইটি ধ্রুবক, কাজেই O বিন্দুর অবস্থানও ধ্রুবক—অর্থাৎ ইহা একটি স্থির বিন্দু।

(v) **মুখ্য ফোকাস্** (Principal focus) :

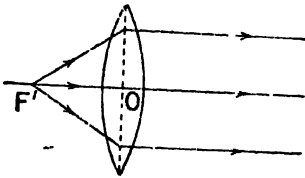
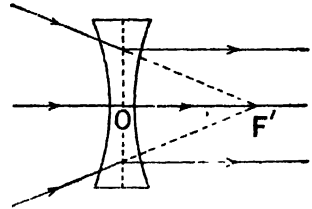
আমরা দেখিয়াছি যে কোন সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরাল আসিয়া লেন্সের উপর আপতিত হইলে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুচ্ছ

(a) (b)

উত্তল এবং অবতল লেন্সের মুখ্য ফোকাস

চিত্র 4চ

অভিসারী অথবা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইলে (উত্তল লেন্সের বেলাতে) উহারা অক্ষের উপর অবস্থিত কোন এক বিন্দুতে মিলিত হয় এবং অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইলে (অবতল লেন্সের বেলাতে) অক্ষের উপর অবস্থিত কোন এক বিন্দু হইতে

অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় [4চ (a) এবং (b) নং চিত্র]। উক্ত বিন্দুকে উক্ত লেন্সের মুখ্য ফোকাস বলা হয়। 4চ চিত্রে F বিন্দু লেন্সের মুখ্য ফোকাস।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে লেন্সের দুইটি মুখ্য ফোকাস থাকে। উপরে যে মুখ্য ফোকাসের কথা বলা হইল উহাকে **দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস** (second principal focus) বলা হয়। ইহা ছাড়া আর একটি মুখ্য ফোকাস আছে—ইহাকে **প্রথম মুখ্য ফোকাস** (first principal focus) বলে। নিম্নে ইহার ব্যাখ্যা করা হইল।

উত্তল ও অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস

চিত্র 4ছ

মনে কর, একটি উত্তল-লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর F′ এমনই একটি বিন্দু যে উহা হইতে একগুচ্ছ রশ্মি অপসৃত হইয়া লেন্সের উপর আপতিত হইল এবং প্রতিসরণের পর রশ্মিগুচ্ছ প্রধান-অক্ষের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল [4ছ (a) নং চিত্র]। এক্ষেত্রে F′ বিন্দুকে উত্তল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস বলা হইবে।

তেমনি, যদি একগুচ্ছ অভিসারী রশ্মিকে এমনভাবে একটি অবতল লেন্সের দিকে পাঠানো হয় যে লেন্সের অবর্তমানে উহারা লেন্সের প্রধান অক্ষস্থিত একটি বিন্দু F′-এ মিলিত হইত কিন্তু লেন্স কর্তৃক প্রতিসরণের ফলে উহারা প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল, তাহা হইলে F′ বিন্দুকে অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস বলিয়া গণ্য করা হইবে [4ছ (b) নং চিত্র]।

সুতরাং লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাসের সংজ্ঞা হিসাবে বলা যাইতে পারে যে ইহা লেন্সের প্রধান অক্ষস্থিত এমনই একটি বিন্দু যে উহা হইতে একগুচ্ছ অপসারী রশ্মি নির্গত হইয়া (উত্তল লেন্সের বেলাতে) অথবা একগুচ্ছ অভিসারী রশ্মি উহার দিকে অগ্রসর হইয়া (অবতল লেন্সের বেলাতে) লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে নির্গত হয়।

[দ্রষ্টব্য ঃ লেন্সের দুইটি মুখ্য ফোকাস থাকিলেও প্রতিবিম্ব গঠন সম্পর্কে দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস কার্যকর হয়। এই কারণে সাধারণভাবে লেন্সের ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস বলিতে দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসকেই বুঝায়।]

(iv) **ফোকাস-দূরত্ব** (Focal length) :

লেন্সের আলোক কেন্দ্র O হইতে প্রধান অক্ষ বরাবর যে-কোন মুখ্য ফোকাস F অথবা F′ পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস-দূরত্ব বলে।

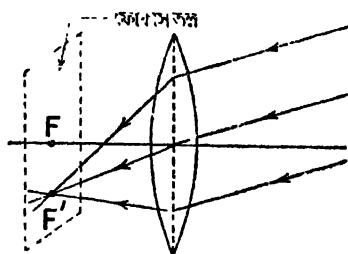
তবে, **মনে রাখিতে হইবে** যে লেন্সের উভয় পার্শ্বের মাধ্যম এক না হইলে O বিন্দু হইতে F এবং F′-এর দূরত্ব সমান হইবে না। সেক্ষেত্রে প্রথম মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে প্রথম ফোকাস-দূরত্ব (first focal length) এবং দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে দ্বিতীয় ফোকাস-দূরত্ব (second focal length) বলা হইবে।

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব সদ্ কিন্তু অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব অসদ্।

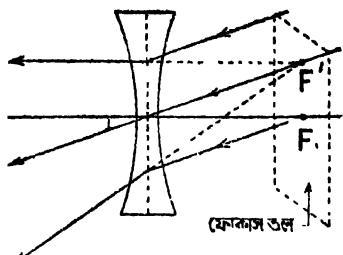
(vii) **ফোকাস-তল** (Focal plane)

কোন লেন্সের মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া এবং প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে একটি তল (plane) কল্পনা করিলে উহাকে লেন্সের ফোকাস-তল বলা হয়।

(viii) **গৌণ ফোকাস** (Secondary focus) :

যদি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য কোণ করিয়া লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় এবং ফোকাস-তলে কোন এক বিন্দুতে মিলিত হয়। 4জ (*a*) নং চিত্রে F উত্তল লেন্সের মুখ্য-ফোকাস এবং কাটা লাইন দিয়া ফোকাস-তল দেখানো হইয়াছে। প্রধান অক্ষের সহিত আনত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর F′ বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। F′ উত্তল লেন্সের গৌণ ফোকাস।

F′ বিন্দু উত্তল লেন্সের গৌণ ফোকাস

চিত্র 4জ (*a*)

তেমনি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি একটি অবতল লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য কোণ করিয়া লেন্সের উপর আপতিত হইলে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুচ্ছ অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় এবং ফোকাস-তলে কোন এক বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। 4জ (b) নং চিত্রে F অবতল লেন্সের মুখ্য ফোকাস এবং কাটা লাইন দিয়া ফোকাস-তল দেখানো হইয়াছে। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর F′ বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। F′ অবতল লেন্সের গৌণ ফোকাস।

F′ বিন্দু অবতল লেন্সের গৌণ ফোকাস
চিত্র 4জ (b)

মনে রাখিতে হইবে যে লেন্সের (উত্তল অথবা অবতল) মুখ্য ফোকাস স্থির বিন্দু—কিন্তু গৌণ ফোকাস স্থির বিন্দু নয়।

(ix) **উন্মেষ** (Aperture) :

লেন্সের আকার গোল। তাই সাধারণভাবে লেন্সের ব্যাসকে উহার উন্মেষের পরিমাপ বলিয়া ধরা হয়।

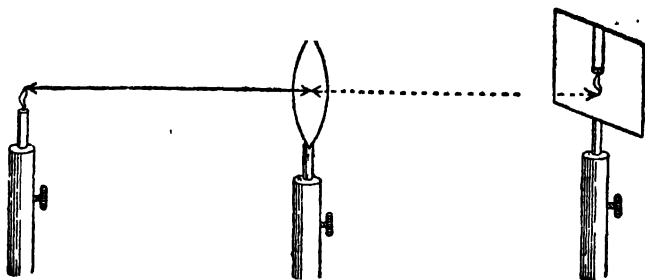
এই পুস্তকে যে লেন্স সম্বন্ধে আলোচনা করা হইবে উহার উন্মেষ ছোট— অর্থাৎ আকারে উহা ছোট এবং উহা খুব সরু বলিয়া ধরা হইবে।

4·6. লেন্স কর্তৃক বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন (Formation of image of an object by lenses) :

আমরা জানি যে কোন বস্তু হইতে নির্গত আলোক রশ্মি যদি প্রতিসৃত হয়, তবে ঐ প্রতিসৃত রশ্মি বস্তুর প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। প্রতিসৃত রশ্মিগুলি যদি কোন বিন্দুতে মিলিত হয় তবে ঐ বিন্দু হইবে বস্তুবিন্দুর **সদ্ প্রতিবিম্ব** এবং যদি কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তবে ঐ বিন্দু হইবে বস্তুবিন্দুর **অসদ্ প্রতিবিম্ব**। যেহেতু, লেন্স একটি প্রতিসারক (refracting) মাধ্যম, অতএব লেন্স উপরোক্ত পদ্ধতিতে বস্তুর প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিতে সক্ষম। প্রকৃতপক্ষে লেন্স দ্বারা আমরা বস্তুর সদ্ ও অসদ্ বিম্ব তৈয়ারী করিতে পারি।

পরীক্ষা :

একটি মোমবাতির শিখা ও একটি দণ্ডে আবদ্ধ কাগজের পর্দা পরস্পর হইতে খানিকটা দূরে রাখো। এইবার অপর একটি দণ্ডে একটি উত্তল লেন্স

আটকাও এবং পর্দা ও শিখার মাঝখানে বসাও। এইবার লেন্সটিকে একটু অগ্র-পশ্চাৎ সরাও। দেখিবে লেন্সটিকে একটি বিশেষ জায়গায় রাখিলে

উত্তল লেন্স শিখার প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিতেছে

চিত্র 4ঝ

কাগজের পর্দার উপর শিখার একটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়িবে (4ঝ নং চিত্র)।

4·7. জ্যামিতিক উপায়ে প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় (Determination of the position of image by geometrical construction) :

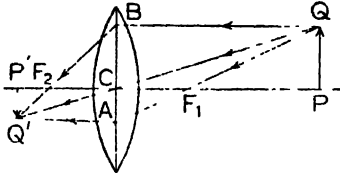
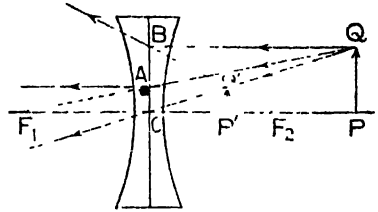
লেন্সের অক্ষস্থিত কোন বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে তাহা জ্যামিতিক উপায়ে নির্ণয় করিবার জন্য লেন্সের নিম্নলিখিত গুণাগুণ মনে রাখিতে হইবে।

(i) কোন রশ্মি যদি উত্তল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় অথবা অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাসের দিকে অগ্রসর হয় তবে লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর উহা লেন্সের অক্ষের সমান্তরালভাবে চলিয়া যাইবে।

(ii) কোন রশ্মি যদি লেন্সের অক্ষের সমান্তরালভাবে অগ্রসর হইয়া লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে প্রতিসরণের পর উত্তল লেন্সের বেলাতে রশ্মি দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া যাইবে এবং অবতল লেন্সের বেলাতে রশ্মি দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে।

(iii) কোন রশ্মি লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইলে, রশ্মির কোন বিচ্যুতি হইবে না—রশ্মি সরাসরি একই পথে চলিয়া যাইবে।

4ঞ (*a*) এবং (*b*) নং চিত্র দুইটিতে উপরোক্ত তথ্য দেখানো হইয়াছে। বস্তু PQ লেন্সের অক্ষের উপর লম্বভাবে দণ্ডায়মান। F_1 এবং F_2 লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস। C লেন্সের আলোক-কেন্দ্র। Q বিন্দু হইতে একটি

রশ্মি QA লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস F_1 বিন্দুর মধ্য দিয়া (অবতল লেন্সের বেলাতে F_1 বিন্দুর দিকে), দ্বিতীয় রশ্মি QB লেন্সের অক্ষের সমান্তরালভাবে এবং তৃতীয় রশ্মি QC লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের অভিমুখে অগ্রসর হইয়া

চিত্র 4এ

লেন্সের উপর পড়িতেছে। এক্ষেত্রে, প্রতিসরণের পর উপরোক্ত নিয়মানুযায়ী উত্তল লেন্সের বেলাতে রশ্মিগুলি Q' বিন্দুতে মিলিত হইতেছে এবং অবতল লেন্সের বেলাতে Q' বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইতেছে। Q' বিন্দু হইতে অক্ষের উপর Q'P' লম্ব টানিলে উহাই হইবে বস্তুর প্রতিবিম্ব।

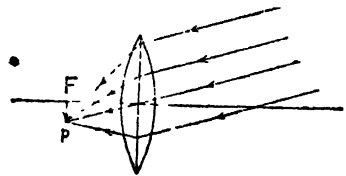
এখানে উল্লেখযোগ্য যে উপরোক্ত তিনটি রশ্মিরই সহায়তা লইবার প্রয়োজন নাই ; যে-কোন দুইটি রশ্মি লইলেই প্রতিবিম্ব-অবস্থান নির্ণয় করা যাইবে।

4-8. বস্তু-দূরত্বের বিভিন্নতায় বিভিন্ন প্রতিবিম্বের গঠন (Formation of different images due to different object distances) :

বস্তু-দূরত্ব বিভিন্ন হইলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি বিভিন্ন হয়। বস্তুকে বহুদূর হইতে লেন্সের খুব কাছে আনিলে প্রতিবিম্বের কিরূপ পরিবর্তন হয় জ্যামিতিক উপায়ে নিম্নে তাহার আলোচনা করা হইল।

(ক) উত্তল লেন্স :

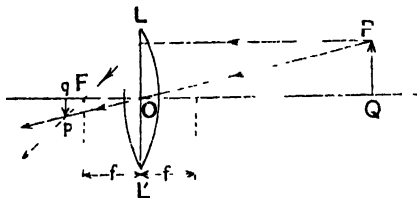
(1) বস্তু অসীমে অবস্থিত (Object at infinity) :

বস্তু অসীমে অবস্থিত হইলে তাহা হইতে যে রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হয় তাহারা পরস্পর সমান্তরাল ধরিয়া লওয়া যাইতে পারে। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের অক্ষের সহিত সামান্য আনত (inclined) হইয়া লেন্সে আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর ফোকাস-তলে (focal plane) অবস্থিত কোন বিন্দু p তে মিলিত হইবে (গৌণ ফোকাসের

বস্তু অসীমে থাকলে প্রতিবিম্ব ফোকাস তলে গঠিত হয়

চিত্র 4ট (1)

সংজ্ঞা দ্রষ্টব্য)। সুতরাং প্রতিবিম্ব লেন্সের ফোকাস-তলে অবস্থিত হইবে [4ট (i) নং চিত্র]। এই প্রতিবিম্ব সদ্, উল্টা ও খুব ছোট হইবে। উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য (objective) তৈয়ারী হয়।

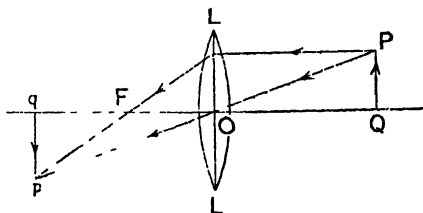
(2) বস্তু লেন্স হইতে 2*f* এর বেশী দূরে অবস্থিত :

PQ একটি বস্তু [4ট (ii) নং চিত্র]। P বিন্দু হইতে PL ও PO রশ্মি নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর *p* বিন্দুতে মিলিত হয়। *p* বিন্দু হইতে অক্ষের উপর *pq* লম্ব টানিলে PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব মিলিবে।

বস্তু 2*f*-এর বেশী দূরে ; প্রতিবিম্ব 2*f* এবং *f*-এর মধ্যে

চিত্র 4ট (ii)

চিত্র হইতে বোঝা যায় যে এই প্রতিবিম্ব *f* এবং 2*f*-এর মাঝে অবস্থিত। ইহা সদ্, উল্টা এবং বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্র। উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে ক্যামেরায় কার্যকর করা হয়।

(3) বস্তু লেন্স হইতে 2*f* দূরে অবস্থিত :

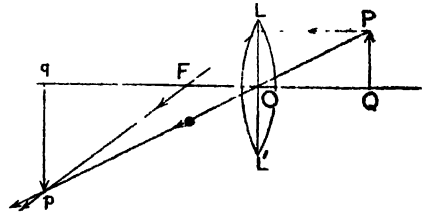
4ট (iii) নং চিত্র হইতে বোঝা যায় যে প্রতিবিম্বও লেন্স হইতে 2*f* দূরে অবস্থিত। এই প্রতিবিম্ব সদ্, উল্টা কিন্তু বস্তুর আকারের সমান। এইরূপ

বস্তু-দূরত্ব 2*f* ; প্রতিবিম্ব-দূরত্ব 2*f*

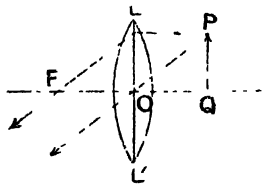
চিত্র 4ট (iii)

লেন্স ভৌম দূরবীক্ষণ (terrestrial telescope) যন্ত্রে উল্টা প্রতিবিম্বকে খাড়া করিবার জন্য ব্যবহৃত হয়।

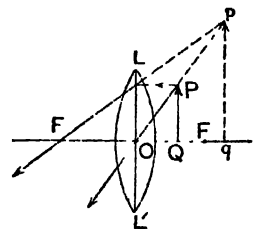
(4) বস্তু লেন্স হইতে *f* এবং 2*f* এর মাঝে অবস্থিত ঃ

PQ একটি বস্তু [4ট (iv) নং চিত্র]। বস্তুর প্রতিবিম্ব জ্যামিতিক পদ্ধতিতে নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে, প্রতিবিম্ব 2*f* হইতে দূরে অবস্থিত। এই প্রতিবিম্ব সদ্, উল্টা কিন্তু বস্তু অপেক্ষা আকারে বড়। লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া ম্যাজিক লণ্ঠন, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য প্রভৃতি যন্ত্র তৈয়ারী করা হয়।

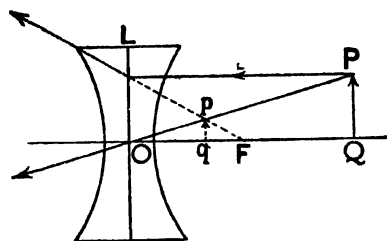
বস্তু *f* এবং 2*f*-এর মধ্যে ; প্রতিবিম্ব 2*f*-এর বেশী দূরে
চিত্র 4ট (iv)

(5) বস্তু ফোকাসে অবস্থিত ঃ

4ট (v) নং চিত্রে PQ একটি বস্তু লেন্সের ফোকাসে অবস্থিত। এই অবস্থায় বস্তু হইতে নির্গত আলোক-রশ্মি লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে এবং অসীমে প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। এই প্রতিবিম্ব অতিশয় বর্ধিত। যে সমস্ত যন্ত্রে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ তৈয়ারী করিতে হয়, যেমন—বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র (spectrometer) সেখানে উত্তল লেন্সকে এইভাবে ব্যবহার করা হয়।

বস্তু ফোকাসতলে ; প্রতিবিম্ব অসীমে,
চিত্র 4ট (v)

(6) বস্তু *f* ও লেন্সের মধ্যে অবস্থিত ঃ

4ট (vi) নং চিত্রে PQ বস্তু লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের ভিতরে অবস্থিত। এস্থলে P বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর কোথাও মিলিত হয় না। কিন্তু পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিলে মনে হয় *p* বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং *p* বিন্দু হইতে P বিন্দুর অসদ্ বিম্ব। *pq* হইবে সমগ্র অসদ্ বিম্ব। চিত্র হইতে বোঝা যায় যে, বস্তু যেদিকে এই বিম্ব সেইদিকে

বস্তু ফোকাস দূরত্বের ভিতরে, প্রতিবিম্ব অসদ্, সোজা ও বৃহত্তর
চিত্র 4ট (vi)

গঠিত হয়, ইহা অসৎ, সোজা ও বস্তু অপেক্ষা আকারে বড। লেন্সের এই ব্যবহারকে কার্যকর করিয়া বিবর্ধক কাচ (magnifying glass), অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্র (eye-piece) তৈয়ারী হয়।

(খ) **অবতল লেন্স :** এক্ষেত্রে বস্তু যেখানেই অবস্থিত হউক না কেন প্রতিবিম্বের আকৃতি ও প্রকৃতি অপরিবর্তিত থাকে। প্রতিবিম্ব সর্বদা অসদ্, সোজা ও বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতব হইবে এবং লেন্সেব ফোকাস দূবত্বের মধ্যে অবস্থিত হইবে। 4ঠ নং চিত্রে অবতল লেন্স কর্তৃক এই প্রতিবিম্ব গঠন দেখানো হইয়াছে।

অবতল লেন্স সর্বদা অসদ্‌বিম্ব গঠন করে

চিত্র 4ঠ

4-9. চিহ্নের নিয়ম (Convention of sign) :

বিভিন্ন স্থানে বস্তু লইয়া বিভিন্ন প্রতিবিম্ব গঠনেব যে আলোচনা পূব অনুচ্ছেদে করা হইল তাহা হইতে দেখা যায় যে প্রতিবিম্ব কখন কখন বস্তু যে-দিকে সেইদিকে হইতেছে—কখন বা বিপরীত দিকে হইতেছে। সুতবাং বিভিন্ন বস্তু-দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব-দূবত্ব বিবেচনা কবিতে গেলে উহাদেব যথোপযুক্ত চিহ্ন (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) দিযা লইতে হইবে। এই চিহ্ন দিবার নিয়ম নিম্নরূপ :

বস্তু, প্রতিবিম্ব অথবা ফোকাস দূবত্ব মাপিতে গেলে সর্বদা লেন্সেব আলোক-কেন্দ্র হইতে মাপিতে হইবে। আলোক-কেন্দ্র হইতে বস্তু, ফোকাস অথবা প্রতিবিম্বের দিকে অগ্রসর হইবার সময় যদি আপতিত আলোকের অভিমুখেব **বিপরীত** দিকে যাইতে হয় তবে উক্ত দূবত্ব **ধনাত্মক** (positive) ধরা হইবে এবং যদি আপতিত আলোকের অভিমুখের **দিকে** যাইতে হয় তবে উক্ত দূরত্ব **ঋণাত্মক** (negative) হইবে।

4চ (*a*) নং চিত্রে উত্তল লেন্সের ফোকাস দেখান হইয়াছে। এখানে ফোকাস-দূরত্ব O হইতে F পর্যন্ত। কিন্তু O হইতে F পর্যন্ত যাইতে গেলে আপতিত আলোর অভিমুখের দিকে যাইতে হয়। সুতরাং, এই দূরত্ব ঋণাত্মক। কিন্তু অবতল লেন্সেব বেলাতে O হইতে F পর্যন্ত যাইতে গেলে আপতিত আলোকের অভিমুখের বিপরীত দিকে যাইতে হয় [4চ (*b*) নং চিত্র]। সুতরাং অবতল লেন্সেব ফোকাস্-দূরত্ব ধনাত্মক।

1934 খ্রীষ্টাব্দে লণ্ডনস্থ ফিজিক্যাল সোসাইটি চিহ্নের নিয়ম সম্পর্কে একটি নতুন সুপারিশ করিয়াছেন। এই নতুন নিয়মটি নিম্নরূপ :—

(1) সদ্ বস্তু, সদ্ প্রতিবিম্ব বা সদ্ ফোকাসের দূরত্বকে ধনাত্মক (+) ধরা হইবে।

(2) অসদ্ বস্তু, অসদ প্রতিবিম্ব বা অসদ্ ফোকাসের দূরত্বকে ঋণাত্মক (−) ধরা হইবে।

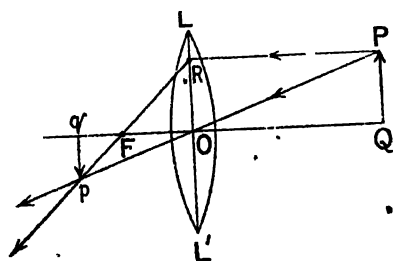
এই নতুন নিয়মানুযায়ী উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ধনাত্মক ও অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ঋণাত্মক হয়। এই পুস্তকে পুরাতন নিয়ম ব্যবহার করা হইয়াছে।

4-10. লেন্সের সাধারণ সূত্র (General formula for lenses) :

লেন্স কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করিলে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র O হইতে বস্তু পর্যন্ত দূরত্বকে বস্তু দূরত্ব (object distance) এবং প্রতিবিম্ব পর্যন্ত দূরত্বকে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব (image distance) বলা হয়। সাধারণত বস্তু-দূরত্বকে 'u' অক্ষর দ্বারা, প্রতিবিম্ব দূরত্বকে 'v' অক্ষর দ্বারা এবং লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে 'f' অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয়। এই রাশিগুলি পরস্পরের সহিত সম্পর্কযুক্ত এবং এই সম্পর্ককে লেন্সের সাধারণ সূত্র বলা হয়। নিম্নবর্ণিত উপায়ে উত্তল এবং অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে সাধারণ সূত্রের প্রতিষ্ঠা করা যায়।

(i) **উত্তল লেন্স ও সদ্ বিম্ব :**

4ড (a) চিত্র দেখ। LOL′ একটি সরু ও ছোট উত্তল লেন্স। PQ লেন্সের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত একটি বস্তু। 4-7 অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী প্রতিবিম্ব pq অঙ্কিত করা হইয়াছে। ইহা সদ্ ও উল্টা প্রতিবিম্ব।

এখন pqF এবং RFO ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ। কাজেই,

$$\frac{pq}{Fq}=\frac{RO}{OF}=\frac{PQ}{OF}$$

[∵ PQ = RO]

$$\therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{Fq}{OF} \quad \cdots(i)$$

আবার, qpO এবং QPO ত্রিভুজ দুইটিও সদৃশ। সুতরাং

$$\frac{qp}{Oq}=\frac{PQ}{OQ}$$

$$\therefore \frac{qp}{PQ}=\frac{Oq}{OQ} \quad \cdots(ii)$$

চিত্র 4ড (a)

(i) এবং (ii) সমীকরণ দুইটি তুলনা করিলে লেখা যাইতে পারে যে

$$\frac{Fq}{OF}=\frac{Oq}{OQ}$$

অথবা, $$\frac{Oq-OF}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \quad \cdots\text{(iii)}$$

4ড (*a*) চিত্রানুযায়ী, বস্তু দূরত্ব → $OQ=+u$

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব → $Oq=-v$

ফোকাস্-দূরত্ব → $OF=-f$

(iii) নং সমীকরণে ইহা বসাইলে আমরা পাই,

$$\frac{-v-(-f)}{-f}=\frac{-v}{u}$$

অথবা, $$\frac{f-v}{-f}=\frac{-v}{u}$$

অথবা, $$uf-uv=vf$$

সমীকরণের উভয়দিকস্থ একই রাশি uvf দ্বারা ভাগ করিলে,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u}$$

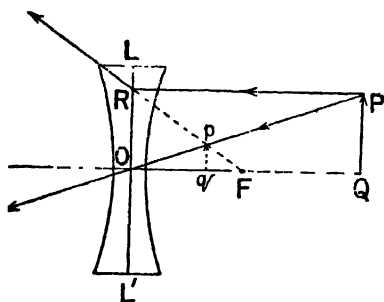
অথবা, $$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

ইহাই হইল লেন্সের সাধারণ সূত্র।

(ii) অবতল লেন্স ও অসদ্ বিম্ব :

4ড (*b*) নং চিত্রে LOL′ একটি সরু ও ছোট অবতল লেন্স। PQ লেন্সের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত একটি বস্তু। 4-7 অনুচ্ছেদ বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে প্রতিবিম্ব *pq* অঙ্কিত করা হইয়াছে। এই প্রতিবিম্ব অসদ্ ও সোজা।

চিত্র 4ড (*b*)

এখন, *pq*F এবং RFO ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ। কাজেই,

$$\frac{pq}{qF}=\frac{RO}{OF}=\frac{PQ}{OF} \qquad [\because PQ=RO]$$

$$\therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{qF}{OF} \qquad \text{(i)}$$

আবার qpO এবং QPO ত্রিভুজ দুইটিও সদৃশ। সুতরাং

$$\frac{pq}{Oq}=\frac{PQ}{OQ}$$

$$\therefore \quad \frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ} \qquad \text{(ii)}$$

(i) এবং (ii) সমীকরণ দুইটি তুলনা করিলে লেখা যাইতে পারে যে,

$$\frac{qF}{OF}=\frac{Oq}{OQ}$$

অথবা $$\frac{OF-Oq}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \quad \cdots \quad \text{(iii)}$$

4ভ (b) চিত্রানুযায়ী, বস্তু-দূরত্ব $\rightarrow OQ=+u$

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $\rightarrow Oq=+v$

ফোকাস-দূরত্ব $\rightarrow OF=+f$

(iii) নং সমীকরণে ইহা বসাইলে আমরা পাই,

$$\frac{f-v}{f}=\frac{v}{u}$$

অথবা, $uf-uv=vf$

সমীকরণের উভয়দিকই একই রাশি uvf দ্বারা ভাগ করিলে,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u}$$

অথবা $$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

4-11. রৈখিক বিবর্ধন (Linear magnification) :

লেন্স দ্বারা বস্তুর যে-প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা বস্তুর অবস্থানের উপর নির্ভর করিয়া বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর বা ক্ষুদ্রতর হইতে পারে—অর্থাৎ লেন্সের বিবর্ধক ক্ষমতা (magnifying power) আছে। রৈখিক বিবর্ধন বলিতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য ও বস্তুর দৈর্ঘ্যের অনুপাত বুঝায়। অর্থাৎ,

$$\text{রৈখিক বিবর্ধন } (m)=\frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য}}$$

4ভ (a) নং চিত্রে

$$m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{v}{u}$$

তেমনি, 4ভ (b) নং চিত্রে

$$m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{v}{u}$$

সুতরাং যে-কোন লেন্সের বেলায় রৈখিক বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}$

4ভ (a) নং চিত্রে, উত্তল লেন্সের বেলাতে চিহ্নের নিয়মানুযায়ী u ধনাত্মক কিন্তু v ঋণাত্মক এবং চিত্রানুযায়ী প্রতিবিম্ব উল্টানো। আবার, 4ভ (b) নং চিত্রে অবতল লেন্সের বেলাতে u এবং v উভয়েই ধনাত্মক এবং চিত্রানুযায়ী প্রতিবিম্ব সোজা। সুতরাং আমরা বলিতে পারি যে বিবর্ধন ঋণাত্মক হইলে উল্টানো প্রতিবিম্ব বুঝাইবে এবং ধনাত্মক হইলে সোজা প্রতিবিম্ব বুঝাইবে।

উদাহরণ :

(1) একটি বস্তু কোন উত্তল-লেন্স হইতে যথাক্রমে (a) 50 cm. ও (b) 15 cm. দূরে রাখা হইল। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 20 cm. হইলে প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে? বস্তুর সাইজ 2 cm. হইলে উক্ত প্রতিবিম্বদ্বয়ের সাইজ কত হইবে?

[An object is placed at a distance of (a) 50 cm and (b) 15 cm from a convex lens. If the focal length of the lens is 20 cm, what will be the position of the images? If the object is 2 cm. long, what will be the sizes of the images?]

উ। এস্থলে $u=+50$ cm., $f=-20$ cm. (উত্তল লেন্স)

(a) আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

এক্ষেত্রে $\frac{1}{v}-\frac{1}{50}=-\frac{1}{20}$

$$\therefore \frac{1}{v}=-\frac{1}{20}+\frac{1}{50}=\frac{-3}{100}$$

$$\therefore v=-\frac{100}{3}=-33{\cdot}3 \text{ cm.}$$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে বস্তুর বিপরীত দিকে (ঋণাত্মক চিহ্নের জন্য) 33·3 cm. দূরে অবস্থিত।

এক্ষেত্রে বিবর্ধন $m=\frac{v}{u}=\frac{\frac{100}{3}}{50}=\frac{2}{3}$

$\therefore$ প্রতিবিম্বের সাইজ = বস্তুর সাইজ × বিবর্ধন

$$=2\times\frac{2}{3}=1{\cdot}33 \text{ cm.}$$

(*b*) এক্ষেত্রে $u = +15$ cm. ; $f = -20$ cm.

লেন্সের সাধারণ সূত্রানুযায়ী,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

এক্ষেত্রে, $\frac{1}{v} - \frac{1}{15} = -\frac{1}{20}$

or, $\frac{1}{v} = -\frac{1}{20} + \frac{1}{15} = \frac{1}{60}$

$\therefore \quad v = +60$ cm.

অর্থাৎ, বস্তু যেদিকে প্রতিবিম্ব লেন্সের সেইদিকে (ধনাত্মক চিহ্নের জন্য) 60 cm. দূরে অবস্থিত।

এক্ষেত্রে বিবর্ধন, $m = \frac{v}{u} = \frac{60}{15} = 4$

$\therefore$ প্রতিবিম্বের সাইজ = বস্তুর সাইজ × বিবর্ধন

$= 2 \times 4 = 8$ cm.

(2) একটি বিন্দু প্রভবকে লেন্স হইতে 30 cm. দূরে রাখিলে বস্তুর বিপরীত দিকে এবং লেন্স হইতে 10 cm. দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেন্সটি কি ধরনের ? উহার ফোকাস-দূরত্ব কত ?

[When a point source is placed 30 cm. away from a lens, an image is formed on the other side of the lens and 10 cm. from it. What kind of lens is it ? What is its focal length ?]

উ। যেহেতু প্রতিবিম্ব বস্তুর বিপরীত দিকে হইতেছে কাজেই প্রতিবিম্ব সদ্ এবং লেন্স উত্তল। কারণ উত্তল লেন্স ছাড়া অবতল লেন্স কখনও সদ বিম্ব গঠন করিতে পারে না।

এস্থলে $u = 30$ cm , $v = -10$ cm (সদ্ বিম্ব) , $f = ?$

আমরা জানি, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$\therefore \quad -\frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{1}{f}$

or, $-\frac{4}{30} = \frac{1}{f}$

$\therefore \quad f = -\frac{30}{4} = -7.5$ cm.

(3) একটি 5 cm. দীর্ঘ বস্তু উত্তল লেন্সের সম্মুখে খাড়া করা হইল। উহার 25 cm. দীর্ঘ একটি প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে 100 cm. দূরে অবস্থিত একখানি পর্দার উপর গঠিত হইল। লেন্সটির ফোকাস্-দূরত্ব নির্ণয় কর।

[An object 5 cm. high is placed perpendicularly in front of a convex lens. An image 25 cm. high is formed on a screen 100 cm. away from the lens. Calculate the focal length of the lens.]

উ। এস্থলে বিবর্ধন $m = \frac{25}{5} = 5$

$$\text{কিন্তু } m = \frac{v}{u} = 5, \text{ or, } v = 5u$$

আবার, $v = 100$ cm. $\therefore$ $u = 20$ cm.

এখন, প্রতিবিম্ব সদ্ হওয়ায় (পর্দায় পড়িতেছে বলিয়া) উহার দূরত্ব ঋণাত্মক। সুতরাং এক্ষেত্রে $v = -100$ cm, $u = 20$ cm ; $f = ?$

লেন্সের সূত্র হইতে $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$$\text{or,} \quad -\frac{1}{100} - \frac{1}{20} = \frac{1}{f} \qquad \text{or,} \quad -\frac{6}{100} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad f = -\frac{100}{6} = -\frac{50}{3} = -16.6 \text{ cm.}$$

(4) 10 cm. ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স হইতে 30 cm. দূরে একটি বস্তু আছে। উহার প্রতিবিম্ব কোথায় হইবে ? প্রতিবিম্বের প্রকৃতি কি হইবে ? প্রতিবিম্বের বিবর্ধন কি হইবে ?

[An object is placed 30 cm. in front of a convex lens of focal length 10 cm. Where will be the image formed ? State the nature of the image. How many times is the image magnified or diminished ?] [*H. S. Exam., 1961*]

উ। এক্ষেত্রে, $u = +30$ cm., $f = -10$ cm. (লেন্স উত্তল বলিয়া), $v = ?$

আমরা জানি, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$$\text{অতএব,} \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{30} = -\frac{1}{10}$$

$$\text{or,} \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{30} - \frac{1}{10} = -\frac{2}{30} = -\frac{1}{15}$$

$$\therefore \quad v = -15 \text{ cm.}$$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর পার্শ্বে 15 cm. দূরে হইবে। অপর পার্শ্বে হওয়ার দরুন প্রতিবিম্ব সদ্ এবং উল্টা।

এখন, বিবর্ধন $m=\frac{v}{u}=\frac{15}{30}=\frac{1}{2}$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বস্তুর দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হইবে।

(5) একটি লেন্স হইতে 50 cm. দূরে বস্তু রাখিলে লেন্সের অপর পার্শ্বে 200 cm. দূরে উহার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেন্স হইতে বস্তুকে 10 cm. দূরে সরাইয়া লইলে প্রতিবিম্বের কত সরণ হইবে নির্ণয় কর।

[It is found that when an object is placed 50 cm. in front of a lens, the image is formed 200 cm. on the other side of it. Find the displacement of the image if the object is moved 10 cm. away from the lens.]

উ। যেহেতু প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর পার্শ্বে গঠিত হইতেছে সেই হেতু বোঝা যাইতেছে যে লেন্সটি উত্তল।

এখন, আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

এক্ষেত্রে, $v=-200$ cm., $u=+50$ cm.

কাজেই, $-\frac{1}{200}-\frac{1}{50}=\frac{1}{f}$

or $-\frac{5}{200}=\frac{1}{f}$

$$\therefore\ f=-\frac{200}{5}\text{ cm.}=-40\text{ cm.}$$

ফোকাস-দৈর্ঘ্য ঋণাত্মক হওয়ায় লেন্সটি যে উত্তল তাহা সমর্থিত হইতেছে।

এখন, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $u=+60$ cm. $f=-40$ cm., $v=?$

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

or $\frac{1}{v}-\frac{1}{60}=-\frac{1}{40}$

or $\frac{1}{v}=\frac{1}{60}-\frac{1}{40}=-\frac{1}{120}$

$\therefore\ v=-120$ cm.

অর্থাৎ এইবার প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর পার্শ্বে 120 cm. দূরে গঠিত হইবে অতএব প্রতিবিম্ব লেন্সের দিকে $(200-120)=80$ cm. সরিয়া আসিবে।

(6) 20 cm. ফোকাস-দৈর্ঘ্যের দুইটি উত্তল লেন্স পরস্পর হইতে 10 cm. দূরে বসানো আছে। উহাদের উভয়েরই অক্ষ এক। 5 cm. উচ্চ একটি বস্তু প্রথম লেন্সের সম্মুখে 15 cm. দূরে অক্ষের উপর লম্বভাবে বসানো আছে। চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের অবস্থান ও সাইজ নির্ণয় কর।

[Two convex lenses of focal length 20 cm. each are situated 10 cm. apart and have a common axis. An object 5 cm. in height is placed on the axis at a distance of 15 cm. in front of the first lens. Find the size and position of the final image.]

উ। এক্ষেত্রে, প্রথম লেন্সটি বস্তুর প্রতিবিম্ব কোথায় গঠন করিতেছে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে, কারণ ঐ প্রতিবিম্বই দ্বিতীয় লেন্সের নিকট-বস্তু হিসাবে কার্য করিবে।

এখন, আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$.

প্রথম লেন্সের বেলাতে, $u=15$ cm , $f=-20$ cm. , $v=?$

অতএব, $\frac{1}{v}-\frac{1}{15}=-\frac{1}{20}$

or $\frac{1}{v}=\frac{1}{15}-\frac{1}{20}=\frac{1}{60}$

$\therefore \quad v=+60$ cm.

অর্থাৎ প্রথম লেন্সের যে-পার্শ্বে বস্তু সেই পার্শ্বেই প্রতিবিম্ব গঠিত হইতেছে (প্রতিবিম্ব দূরত্ব ধনাত্মক বলিয়া) এবং লেন্স হইতে 60 cm দূরে অবস্থিত হইতেছে। কিন্তু লেন্স দুইটির ভিতর দূরত্ব 10 cm. হওয়ায় দ্বিতীয় লেন্স হইতে এই প্রতিবিম্বের দূরত্ব হইবে $(60+10)=70$ cm. ; এই প্রতিবিম্ব-দূরত্ব হইবে দ্বিতীয় লেন্সের নিকট-বস্তু দূরত্ব। অর্থাৎ দ্বিতীয় লেন্সের বেলাতে,

$u=70$ cm. ; $f=-20$ cm. , $v=?$

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

or $\frac{1}{v}-\frac{1}{70}=-\frac{1}{20}$

or $\frac{1}{v}=\frac{1}{70}-\frac{1}{20}=-\frac{5}{140}=-\frac{1}{28}$

$\therefore \quad v=-28$ cm.

অর্থাৎ চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় লেন্সের ডানদিকে (বস্তু যে-দিকে আছে তাহার বিপরীত দিকে) 28 cm. দূরে গঠিত হইবে। এই প্রতিবিম্ব সদ্ এবং উল্টা।

এখন, প্রথম লেন্স কর্তৃক সৃষ্ট বিবর্ধন $= \frac{v}{u} = \frac{60}{15} = 4$

এবং দ্বিতীয় " " " " $= \frac{v}{u} = \frac{28}{70} = \frac{2}{5}$

সুতরাং মোট বিবর্ধন $= 4 \times \frac{2}{5} = \frac{8}{5}$

অতএব চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের সাইজ = বস্তুর সাইজ × মোট বিবর্ধন

$= 5 \times \frac{8}{5} = 8$ cm.

4-12. লেন্সের সাধারণ সূত্রের সাহায্যে বস্তু-দূরত্বের বিভিন্নতায় বিভিন্ন প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয় (Determination of the position and nature of different images due to different positions of the object by the general equation of the lens):

বস্তু বিভিন্ন দূরত্বে রাখিলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি কিরূপে জ্যামিতিক উপায়ে নির্ণয় করা যায় তাহা 4-8 অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে। লেন্সের সাধারণ সূত্রের সাহায্যে গাণিতিক উপায়েও আমরা প্রতিবিম্বের বিভিন্ন অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি নির্ণয় করিতে পারি। প্রথমে আমরা উত্তল লেন্সের কথা আলোচনা করিব।

(1) **বস্তু অসীমে অবস্থিত** (Object at infinity):

এক্ষেত্রে, $u = \infty$, এবং $\frac{1}{u} = 0$

∴ সাধারণ সূত্র হইতে আমরা লিখিতে পারি

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \quad \text{(লেন্স উত্তল হওয়ায় } f \text{ ঋণাত্মক)}$$

অথবা, $\frac{1}{v} = -\frac{1}{f}$

" $v = -f$

অর্থাৎ প্রতিবিম্ব ফোকাস-তলে অবস্থিত, ঋণাত্মক চিহ্ন সূচনা করে যে প্রতিবিম্ব লেন্সের বিপরীত দিকে গঠিত হইবে—অর্থাৎ প্রতিবিম্ব সদ।

তাছাড়া, 'v' এর তুলনায় 'u' অতি বৃহৎ বলিয়া বিবর্ধন $\left(m=\frac{v}{u}\right)$ অতি সামান্য; অর্থাৎ প্রতিবিম্ব অতি ক্ষুদ্র হইবে।

(2 & 3) বস্তু '2f' দূরত্বে অথবা '2f' অপেক্ষা বেশী দূরে :

$u=2f$, হইলে $\frac{1}{u}=\frac{1}{2f}$

এখন $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$

অথবা, $\frac{1}{v}=\frac{1}{u}-\frac{1}{f}=\frac{1}{2f}-\frac{1}{f}=-\frac{1}{2f}$

$\therefore \quad v=-2f.$

অর্থাৎ প্রতিবিম্বও $2f$ দূরে গঠিত হইবে এবং লেন্সের অপর পার্শ্বে অবস্থিত হইবে অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব সদ্ হইবে।

আবার, বিবর্ধন $m=\frac{v}{u}=\frac{2f}{2f}=1$

অর্থাৎ প্রতিবিম্ব ও বস্তু সমান আকারের হইবে।

সুতরাং বস্তুকে অসীম হইতে $2f$ দূরে আনিলে প্রতিবিম্ব 'f' হইতে $2f$ দূরে সরিয়া যায়। অসীম এবং $2f$ দূরত্বের মাঝামাঝি কোথাও বস্তু রাখিলে সহজেই বোঝা যায় যে প্রতিবিম্ব 'f' এবং '$2f$'-এর মাঝামাঝি কোথাও হইবে। যেহেতু 'u' অপেক্ষা 'v' ছোট, সেইহেতু প্রতিবিম্ব আকারে বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে।

(4 & 5) বস্তু ফোকাস তলে অথবা 'f' এবং '2f' এর মাঝে :

$u=f$, হইলে $\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

এখন, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$

অথবা, $\frac{1}{v}=\frac{1}{u}-\frac{1}{f}$

$=\frac{1}{f}-\frac{1}{f}$

$\therefore \quad v=\infty.$

অর্থাৎ প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হইবে। যেহেতু, 'u' অপেক্ষা 'v' অতি বৃহৎ সেই হেতু প্রতিবিম্ব আকারে বস্তু অপেক্ষা বহুগুণ বৃহৎ হইবে।

দেখা যাইতেছে যে বস্তুকে $2f$ হইতে সরাইয়া 'f' দূরত্বে আনিলে প্রতিবিম্ব $2f$ হইতে অসীমে চলিয়া গেল। কাজেই, '$2f$' এবং 'f' এর মাঝামাঝি কোথাও বস্তু রাখিলে প্রতিবিম্ব $2f$ এবং অসীমের ভিতর কোথাও গঠিত হইবে। এক্ষেত্রে 'u' অপেক্ষা 'v' বড় বলিয়া প্রতিবিম্ব বিবর্ধিত হইবে।

(6) **বস্তু ফোকাস দূরত্বের ভিতরে** (Object is within 'f')

এক্ষেত্রে $u < f$ অর্থাৎ, $\frac{1}{u} > \frac{1}{f}$.

এখন আমরা জানি $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f}$.

$$\text{অথবা,} \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{u} - \frac{1}{f} = \text{ধনাত্মক রাশি}$$

'v' ধনাত্মক হওয়ায় প্রতিবিম্ব ও বস্তু লেন্সের একই দিকে অবস্থিত হইবে, অর্থাৎ প্রতিবিম্ব অসদ্ হইবে।

$$\text{আবার,} \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{u} - \frac{1}{f} = \frac{f-u}{uf}$$

যেহেতু $f > u$, ধর, $f = u + \delta$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} = \frac{u+\delta-u}{(u+\delta)u} = \frac{\delta}{u^2+u\delta}$$

$$\therefore \quad v = u + \frac{u^2}{\delta}$$

$$= u + \text{ধনাত্মক রাশি}$$

অর্থাৎ v u, সুতরাং প্রতিবিম্ব বিবর্ধিত হইবে।

অবতল লেন্স (Concave lens) :

অবতল লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য ধনাত্মক হওয়ায় লেন্সের সাধারণ সূত্র অপরিবর্তিত থাকিবে।

অর্থাৎ, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ অথবা $\frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{f}$

কাজেই, বস্তু যেখানেই থাকুক না কেন, 'v' সর্বদা ধনাত্মক, অর্থাৎ প্রতিবিম্ব সর্বদা অসদ্।

এখন, $u = f$ হইলে,

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f} = \frac{2}{f} \quad \therefore \quad v = \frac{f}{2}$$

অর্থাৎ প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে ফোকাস দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দূরত্বে গঠিত হইবে।

আবার, $u=\infty$ হইলে, $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$. $\therefore\ v=f$ অর্থাৎ প্রতিবিম্ব ফোকাস তলে গঠিত হইবে।

সুতরাং বস্তুকে অসীম হইতে সরাইয়া ফোকাস-দূরত্বে আনিলে প্রতিবিম্ব সর্বদা f এবং $\frac{f}{2}$ দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত থাকিবে। 'v' সর্বদা 'u' অপেক্ষা ছোট হওয়ায় অবতল লেন্স সব সময় ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব গঠন করিবে।

যখন বস্তু লেন্সের খুব কাছে তখন, $u \simeq 0$ অর্থাৎ $\frac{1}{u} \simeq \infty$

$$\text{এখন,}\quad \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

$$\text{অথবা}\quad \frac{1}{v}=\frac{1}{u}+\frac{1}{f} \simeq \infty+\frac{1}{f} \simeq \infty$$

$$\therefore\quad v=0$$

অর্থাৎ প্রতিবিম্ব লেন্সের খুব কাছে গঠিত হইবে।

4-13. **অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয়** (Conjugate pair of foci):

আলোক-রশ্মির পথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible) বলিয়া একটি লেন্স উহার অক্ষস্থিত কোন বস্তুবিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠন করিলে ঐ বস্তুবিন্দু ও উহার প্রতিবিম্ব উভয়ের অবস্থানের অদলবদল করা যায়। অর্থাৎ লেন্স বস্তুবিন্দুর সদ্‌বিম্ব গঠন করিলে বিম্বের স্থানে বস্তু রাখিলে বস্তুর পূর্বেকার অবস্থানে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। কিন্তু বিম্ব অসদ্ হইলে এরূপ হইবে না। তখন আপতিত রশ্মিগুলিকে এমনভাবে পাঠাইতে হইবে যেন লেন্সের অবর্তমানে অসদ্‌বিম্বের স্থানে উহারা একত্রিত হইতে চেষ্টা করে, তাহা হইলে লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর বস্তুর পূর্বেকার অবস্থানে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

অক্ষস্থিত বস্তুবিন্দু ও উহার প্রতিবিম্বের অবস্থানের এই পারস্পরিক বিনিময় সম্ভব বলিয়া উহাদের **অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয়** বলা হয়। আমরা জানি যে বস্তু-দূরত্ব (u) এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব (v) একটি সূত্রদ্বারা আবদ্ধ। সূত্রটি হইল $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$, এই সূত্রটিকে মাঝে মাঝে অনুবন্ধী সম্পর্ক (conjugate relationship) বলিয়া উল্লেখ করা হয়।

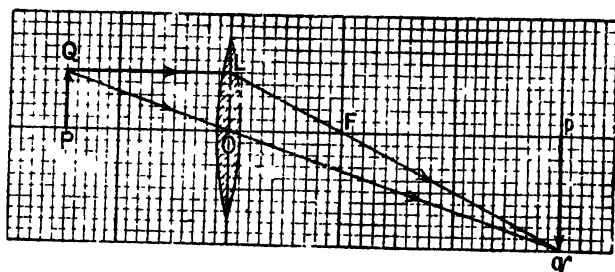
4-14. ছক কাগজের সাহায্যে লেন্স সম্পর্কিত সরল সমস্যার সমাধান (Solution of simple problems in connection with lenses by squared paper) :

লেন্স সম্পর্কিত সরল সমস্যার সমাধানের একটি সহজ উপায় হইতেছে ছক কাগজ। বিশেষত গাণিতিক উপায়ে সমাধানের পর প্রাপ্ত ফলের নির্ভুলতা পরীক্ষার ইহা একটি প্রকৃষ্ট পন্থা। নিম্নলিখিত দুইটি উদাহরণ হইতে এই পদ্ধতি পরিষ্কার বোঝা যাইবে।

(1) **সদ্‌বিম্ব সম্পর্কিত সমস্যা :**

মনে কর, একটি উত্তল-লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 10 cm. এবং উহার সম্মুখে 15 cm. দূরে একটি বস্তুকে লেন্সের অক্ষের উপর খাড়া ভাবে রাখা হইল। ছক কাগজের সাহায্যে প্রতিবিম্বের অবস্থান, সাইজ ও প্রকৃতি নির্ণয় করিতে হইবে।

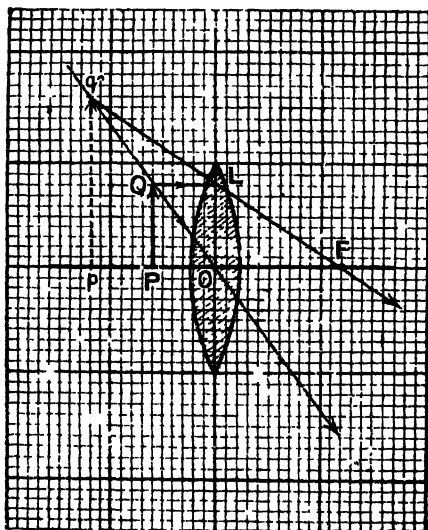
ছক কাগজের সাহায্যে সদ্‌বিম্ব সম্পর্কিত সমস্যার সমাধান

চিত্র 4ট (*a*)

4ট (*a*) নং চিত্র দেখ। ছক কাগজে LO উত্তল লেন্স আঁকা হইয়াছে। ছক কাগজের এক একটি ক্ষুদ্রভাগকে 1 cm-এর সমান ধরিলে ফোকাস-বিন্দু F লেন্সের আলোক-কেন্দ্র O বিন্দু হইতে 10 ভাগ দূরে হইবে। OF=10 ভাগ করিয়া F বিন্দু চিহ্নিত কর। বস্তু লেন্স হইতে 15 cm. দূরে। সুতরাং OP=15 ভাগ করিয়া P বিন্দু চিহ্নিত কর এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য 5 ঘরের সমান করিয়া PQ বস্তু আঁক। সুতরাং বস্তুর উচ্চতা 5 cm. ধরা হইল। বস্তু, আলোক-কেন্দ্র ও ফোকাস নির্দিষ্ট হইবার পর 4-7 অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী প্রতিবিম্ব *pq* অঙ্কিত কর। চিত্র হইতে বোঝা যাইতেছে যে প্রতিবিম্ব *pq* (i) সদ্ (ii) আলোক-কেন্দ্র হইতে 30 ঘর অর্থাৎ 30 cm. দূরে, (iii) উচ্চতায় 10 ঘর অর্থাৎ 10 cm.

(ii) অসদ্‌বিম্ব সম্পর্কিত সমস্যা :

মনে কর, একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 6 cm. এবং উহার সম্মুখে 3 cm. দূরে একটি 4 cm. উচ্চ বস্তুকে লেন্সের অক্ষের উপর খাড়া ভাবে রাখা হইল। ছক কাগজের সাহায্যে প্রতিবিম্বের অবস্থান, সাইজ ও প্রকৃতি নির্ণয় করিতে হইবে।

ছক কাগজের সাহায্যে অসদবিম্ব সম্পর্কিত সমস্যার সমাধান

চিত্র 4চ (*b*)

4চ (*b*) নং চিত্রে O হইল উত্তল লেন্সের আলোক-কেন্দ্র। এক্ষেত্রে ছক কাগজের প্রত্যেক ক্ষুদ্র ভাগকে 0·5 cm-এর সমান ধরা হইয়াছে। সুতরাং OF = 12 ঘর = 6 cm. করিয়া লইলে F হইবে লেন্সের ফোকাস-বিন্দু। তেমনি OP = 6 ঘর = 3 cm করিলে এবং PQ = 8 ঘর = 4 cm. করিলে বস্তুর অবস্থান এবং উচ্চতা নির্দিষ্ট হইবে। অতঃপর 4-7 অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী প্রতিবিম্ব *pq* অঙ্কন করিতে হইবে। 4চ (*b*) নং চিত্র হইতে বোঝা যাইতেছে যে প্রতিবিম্ব (i) অসদ্ (ii) আলোক-কেন্দ্র হইতে উহা 12 ঘর অর্থাৎ 6 cm দূরে এবং (iii) উহার উচ্চতা 16 ঘর অর্থাৎ 8 cm.

গাণিতিক নিয়মানুযায়ী উপরোক্ত সমস্যা দুইটির সমাধান করিলে একই ফল পাওয়া যাইবে, বলা বাহুল্য যে অবতল লেন্সের সমস্যাও উপরোক্ত পদ্ধতিতে সমাধান করা যায়।

[**দ্রষ্টব্য :** ছক-কাগজের প্রত্যেক ক্ষুদ্র ভাগের মান অনুভূমিক এবং উল্লম্ব দিকে একই লইতে হইবে, ইহার কোন অর্থ নাই ; আলাদা লওয়া যাইতে পারে। তবে মান উভয় দিকে সমান হইলে অঙ্কনের সুবিধা হয়।]

4-15. **লেন্সের ক্ষমতা** (Power of a lens) :

মনে কর, দুইটি লেন্স আছে। একটির ফোকাস-দৈর্ঘ্য কম এবং দ্বিতীয়টির অপেক্ষাকৃত বেশী। এখন যদি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি লেন্স দুইটির অক্ষের সমান্তরালভাবে আসিয়া আলাদাভাবে লেন্স দুইটির উপর আপতিত হয়, তবে উহারা লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া ফোকাস-বিন্দুতে একত্রিত হইবে। প্রথম লেন্সটির বেলাতে ঐ বিন্দু লেন্সের যত কাছে হইবে দ্বিতীয় লেন্সের বেলাতে তাহা হইবে না। এক্ষেত্রে বলা হয় যে প্রথম লেন্সটির ক্ষমতা দ্বিতীয় লেন্স অপেক্ষা বেশী। সুতরাং **উত্তল লেন্সের ক্ষমতা বলিতে আমরা বুঝি যে ঐ লেন্স সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে লেন্সের কত কাছে একত্রিত করিতে পারে।**

ঠিক অনুরূপ ভাবে **অবতল লেন্সের ক্ষমতা বলিতে আমরা বুঝি যে ঐ লেন্স সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে কত বেশী অপসৃত করিয়া দিতে পারে।**

লেন্সের ক্ষমতা যত বেশী হইবে অর্থাৎ সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে লেন্স যত বেশী অভিসারী অথবা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করিবে তত উহার ফোকাস-দৈর্ঘ্য ক্ষুদ্র হইবে। সুতরাং ক্ষমতা বৃদ্ধি পাইলে ফোকাস-দৈর্ঘ্য হ্রাস পায়, আবার ক্ষমতা হ্রাস পাইলে ফোকাস-দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়। এই কারণে লেন্সের ক্ষমতা 'P' এবং ফোকাস-দৈর্ঘ্য 'f' হইলে, $P=\frac{1}{f}$

যে লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 100 cm. উহার ক্ষমতাকে ক্ষমতার একক ধরা হয়। এই এককের নাম **'ডায়প্টর্'** (dioptre)। উত্তল লেন্সের ক্ষমতাকে ধনাত্মক এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতাকে ঋণাত্মক গণ্য করা হয়। যে উত্তল-লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 25 cm. উহার ক্ষমতা $= +\frac{1}{25/100} = +4$ dioptres। যে লেন্সের ক্ষমতা 2 dioptres, উহার ফোকাস-দৈর্ঘ্য $= \frac{100}{2} = 50$ cm.

4-16. সহজে লেন্স চিনিবার পদ্ধতি (Simple method of identification of lenses) :

আমরা দেখিয়াছি যে কোন বস্তুকে লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের মধ্যে অর্থাৎ খুব কাছে রাখিলে উহার অসদ্ ও বিবর্ধিত (magnified) প্রতিবিম্ব গঠিত হয় যদি লেন্স উত্তল হয় এবং অসদ্ ও ক্ষুদ্রতর (diminished) প্রতিবিম্ব গঠিত হয় যদি লেন্স অবতল হয়। কাজেই সহজ উপায়ে লেন্স চিনিতে হইলে লেন্সের সন্নিকটে একটি আঙুল রাখ এবং অপর দিক হইতে উহার প্রতিবিম্ব দেখ। যদি প্রতিবিম্ব আকারে বড় হয় তবে বুঝিতে হইবে লেন্স উত্তল। আর যদি প্রতিবিম্ব আকারে ছোট হয় তবে বুঝিতে হইবে লেন্স অবতল।

4-17. U V পদ্ধতিতে উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a convex lens by *U-V* method) :

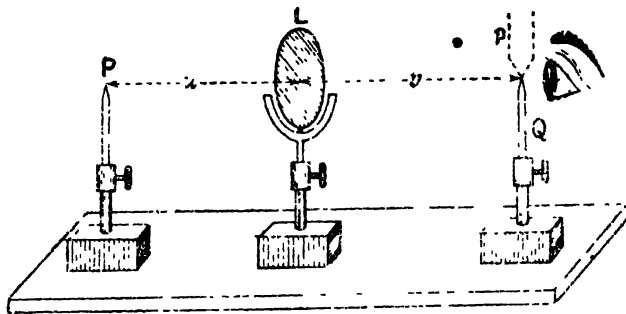
(i) শিখা ও পর্দার সাহায্যে :

[illegible] নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ একটি মোমবাতি ও কাগজের পর্দার মাঝখানে একটি উত্তল লেন্স রাখ। মোমবাতির শিখাটির উচ্চতা এমন হওয়া উচিত যেন উহা লেন্সের অক্ষের উপর থাকে। এখন লেন্সটিকে অগ্র-পশ্চাৎ সরাও যাহাতে কাগজের পর্দার উপর শিখার একটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়ে।

এস্থলে শিখা হইতে লেন্সের দূরত্বকে বস্তু-দূরত্ব বা u বলা হইবে এবং লেন্স হইতে কাগজের পর্দা পর্যন্ত দূরত্বকে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব বা v বলা হইবে। এই দূরত্বগুলি স্কেল দ্বারা মাপ। সুতরাং u এবং v জানা থাকিলে $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ সমীকরণ হইতে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা যাইবে। এস্থলে একটি কথা স্মরণ রাখিতে হইবে যে প্রতিবিম্ব সদ হওয়ায় v ঋণাত্মক। কাজেই সমীকরণে v-এর মান বসাইবার সময় ঋণাত্মক চিহ্নসহ বসাইয়া হিসাব করিতে হইবে।

শিখার দূরত্ব বদলাইয়া ঐরূপ কয়েকবার পরীক্ষার পর f-এর গড় বাহির করিলে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব পাওয়া যাইবে।

(ii) **পিন দ্বারা** (By pins) :

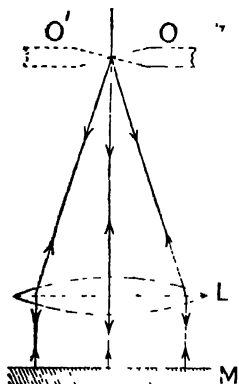
একটি লেন্স-ধারক (lens holder)-এ একখানি উত্তল লেন্স L আটকাইয়া টেবিলের উপর রাখ। লেন্সটির প্রধান অক্ষের (চিত্রে কাটা লাইন দ্বারা

পিনের সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয়

চিত্র 4·

প্রদর্শিত) সহিত মিলাইয়া একটি পিন P লেন্সটির বাঁদিকে রাখ। ডান দিক হইতে লেন্সটির ভিতর দিয়া P-পিন লক্ষ্য করিলে উহার একটি উল্টা প্রতিবিম্ব p দেখা যাইবে (4তে নং চিত্র)। এখন আর একটি পিন Q লেন্সের ডান দিকে এমনভাবে রাখ যে Q-এর অগ্রভাগ এবং উহার প্রতিবিম্ব p-এর অগ্রভাগের ভিতর কোন দৃষ্টিভ্রম (parallax) না থাকে। অর্থাৎ, চোখ একটু এদিক-ওদিক নাড়াইলে উহারা একই সঙ্গে একই দিকে নড়াচড়া করিবে। এই অবস্থায় P-পিনকে বস্তু এবং Q-পিনকে প্রতিবিম্ব বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে। লেন্স হইতে P-পিনের অগ্রভাগের দূরত্ব মাপিলে উহা 'u' হইবে এবং Q পিনের অগ্রভাগের দূরত্ব মাপিলে উহা 'v' হইবে। অতঃপর $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এই সমীকরণের সাহায্যে (u-কে ঋণাত্মক ধরিয়া) f-এর মান নির্ণয় করা যাইবে।

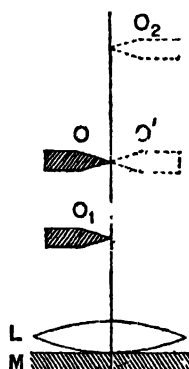
লেন্স অথবা P-পিনকে বিভিন্ন দূরত্বে রাখিয়া উপরোক্ত পরীক্ষা তিন-চার বার করিলে এবং উহা হইতে গড় 'f' নির্ণয় করিলে উহা লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব বুঝাইবে।

4-18. সমতল দর্পণের সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a convex lens by a plane mirror) :

কোন উত্তল লেন্সের (L) ফোকাস-বিন্দুতে যদি একটি বস্তু-বিন্দু (O) রাখা হয় তবে উক্ত বস্তু-বিন্দু হইতে রশ্মি নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর রশ্মিগুলি লেন্সের অক্ষের সমান্তরাল ভাবে চলিয়া যায় (4থ নং চিত্র)। এখন লেন্সের পশ্চাতে একখানি সমতল দর্পণ (M) যদি এমনভাবে রাখা হয় যে উহার তল লেন্সের অক্ষের সহিত সমকোণ করে, তবে সমান্তরাল রশ্মিগুলি দর্পণের উপর অভিলম্বভাবে আপতিত হইবে এবং একই পথে সমান্তরাল রশ্মিরূপে প্রত্যাবর্তন করিবে। এই রশ্মিগুলি অতঃপর লেন্স কর্তৃক ফোকাস-বিন্দুতে একত্রিত হইয়া বস্তু-বিন্দুর স্থানে প্রতিবিম্ব (O′) গঠন করিবে। এই নীতির উপর ভিত্তি করিয়া উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ণয় করা যায়।

চিত্র 4থ

অনুভূমিক ভাবে রক্ষিত একটি সমতল দর্পণের উপর উত্তল লেন্সটি রাখ; একটি তীক্ষ্ণাগ্র পিনকে অবলম্বনের সাহায্যে আটকাইয়া এমনভাবে বসাও যে পিনের অগ্রভাগ লেন্সের অক্ষের উপর থাকে এবং লেন্স হইতে কিছু উপরে অবস্থান করে (4দ নং চিত্র)। উপর হইতে দৃষ্টিপাত করিলে পিনের অগ্রভাগ এবং উহার প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। যদি পিনের অগ্রভাগ O_1 অবস্থানে থাকে তবে একটি সদ্ এবং উল্টা প্রতিবিম্ব O_2 অবস্থানে দেখা যাইবে। এখন পিনটি উঠা-নামা করাইয়া এমন অবস্থানে রাখ যাহাতে উহা এবং উহার প্রতিবিম্ব পরস্পর স্পর্শ করে এবং উহাদের ভিতর কোন দৃষ্টিভ্রম না থাকে (যেমন O এবং O′ অবস্থান)। এখন লেন্স হইতে পিনের অগ্রভাগ পর্যন্ত দূরত্ব একটি স্কেলের সাহায্যে মাপ। ইহাই হইবে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব।

চিত্র 4দ

সারাংশ

দুইটি গোলীয বা একটি গোলীয ও একটি সমতল তলদ্বারা সীমবাদ্ধ স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমের অংশবিশেষকে লেন্স বলে।

লেন্স প্রধানত দুই প্রকার: (1) উত্তল বা অভিসারী, (2) অবতল বা অপসারী। তাছাড়া লেন্সের দু'তলের আকৃতির উপর নির্ভর করিয়া উত্তল বা অবতল গোষ্ঠীর নানাপ্রকার লেন্স তৈয়ারী করা যায়।

বস্তু হইতে রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইলে সদ বা অসদ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

$$\text{প্রতিবিম্বের বিবর্ধন} = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য}}$$

বস্তু-দূরত্বের বিভিন্নতায় বিভিন্ন প্রতিবিম্বের গঠন:

বস্তুর অবস্থান	প্রতিবিম্বের অবস্থান	প্রতিবিম্বের আকার	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি	মন্তব্য
উত্তল লেন্স:				
(1) অসীমে	ফোকাস তলে	খুব ক্ষুদ্র	সদ ও উল্টা	প্রতিবিম্ব দেখা যায় ও পর্দায় ফেলা যায়
(2) $2f$ অপেক্ষা বেশী দূরে	f এবং $2f$ এর ভিতরে	ক্ষুদ্রতর	" "	" "
(3) $2f$ দূরে	$2f$ দূরত্বে	সমান	" "	" "
(4) f এবং $2f$ এর ভিতরে	$2f$ অপেক্ষা দূরে	বৃহত্তর	" "	" "
(5) ফোকাসে	অসীমে	খুব বৃহৎ	" "	প্রতিবিম্ব দেখা যায় না বা পর্দায় ফেলা যায় না
(6) ফোকাস-দূরত্বের ভিতরে	বস্তুর দিকে	বৃহত্তর	অসদ, সোজা	প্রতিবিম্ব শুধু দেখা যায়
অবতল লেন্স: যে-কোন স্থানে	ফোকাস-দূরত্বের ভিতরে	ক্ষুদ্রতর	অসদ, সোজা	প্রতিবিম্ব শুধু দেখা যায়

প্রশ্নাবলী

1. লেন্স কাহাকে বলে? উত্তল ও অবতল লেন্সের ভিতর তফাৎ কি? চিত্রদ্বারা বুঝাইয়া দাও কেন ইহাদের যথাক্রমে অভিসারী ও অপসারী লেন্স বলে।

[What is a lens? What is the difference between a convex and a concave lens? Explain, with the aid of diagrams, why they are called converging and diverging lenses respectively.] [*H. S. Exam. 1964*]

2. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা বুঝাইয়া লেখ:—(ক) বক্রতা-কেন্দ্র (খ) আলোক-কেন্দ্র, (গ) ফোকাস, (ঘ) ফোকাস-দূরত্ব, (ঙ) উন্মেষ।

[Explain the following terms :—(*a*) Centre of curvature (*b*) Optical centre (*c*) Principal focus (*d*) Focal length (*e*) Aperture [*H. S. Exam. 1961, '65*]

3. পরিষ্কার ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও কিরূপে উত্তল লেন্স সদ্ প্রতিবিম্ব ও অবতল লেন্স অসদ্ প্রতিবিম্ব গঠন করে।

[Draw neat diagrams to show how a convergent lens form a real image and a divergent lens a virtual image] [*cf. H. S. Exam., 1960*]

4. সদ্ ও অসদ্ বিম্বের ভিতর পার্থক্য কি? ছবি আঁকিয়া দেখাও কিরূপে উত্তল লেন্স কোন বস্তুর (i) অসদ্ ও (ii) সদ্ বিম্ব গঠন করে।

[Distinguish between a real and a virtual image. Show only by diagram how a convex lens can be made to give (*i*) a virtual, (*ii*) a real image of an object] [*H. S. (comp) 1960, '61, '62*]

5. কোন লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর স্থাপিত একটি বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিতে লেন্সের কি গুণাগুণ ব্যবহার করা হয়? চিত্রসহযোগে তোমার উত্তর ব্যাখ্যা কর।

[What properties of a lens are utilised to find the position of the image of an extended object placed on the principal axis of a lens? Draw a diagram to illustrate your answer.] [*H. S. (comp) 1965.*]

6. নিম্নলিখিত প্রতিবিম্বগুলি পাইতে গেলে কোন ধরনের লেন্স ব্যবহার করিবে এবং বস্তুকে কোথায় রাখিবে নির্দেশ কর:—(ক) বিবর্ধিত সদ্ প্রতিবিম্ব (খ) বিবর্ধিত অসদ্ প্রতিবিম্ব (গ) ক্ষুদ্রতর সদ্ প্রতিবিম্ব (ঘ) ক্ষুদ্রতর অসদ্ প্রতিবিম্ব (ঙ) সমান আকারের সদ্ প্রতিবিম্ব। প্রত্যেক ক্ষেত্রে পরিষ্কার চিত্র আঁক।

[What kind of lens would you use and where the object is to be placed in order to get (*a*) a magnified real image (*b*) a magnified virtual image (*c*) a reduced real image (*d*) a reduced virtual image (*e*) a real image of same size.

Draw neat diagram in each case]

7. তোমাকে বলা হইল উত্তল এবং অবতল লেন্স দ্বারা কোন বস্তুর সোজা প্রতিবিম্ব গঠন করিতে হইবে। বস্তু কোথায় থাকিবে নির্দেশ কর এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে চিত্র আঁকিয়া প্রতিবিম্ব গঠন বুঝাইয়া দাও।

. [A convex lens forms a real image of double the size than the object when the object is placed 15 cm. from the lens. How far the object is to be placed so that a virtual image of double the size may be produced by the same lens ?
(Ans. 5 cm.)

14. (i) 4 cm উচ্চ একটি বস্তুকে 20 cm. ফোকাস-দূরত্ব সম্পন্ন একটি উত্তল লেন্স হইতে 100 cm. দূরে লেন্সের অক্ষের উপর লম্বভাবে রাখা হইল। প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও উচ্চতা কত হইবে ?

[An object, 4 cm long, is placed 100 cm. in front of a convex lens of focal length 20 cm. and perpendicular to the axis of the lens. What is the position, nature and size of the image formed ?]
[*H. S. (comp) 1960*] (Ans. 25 cm. সদ্, 1 cm.)

(ii) 20 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্সের সম্মুখে কোথায় একটি বস্তু রাখিলে বস্তুটির আকারের তিনগুণ সদ্ বিম্ব তৈয়ারী হইবে ?

[Where must an object be placed in front of a convex lens of focal length 20 cms. in order that image may be real and magnified three times ?]
[*H. S. (comp) 1961*] (Ans. 26 6 cm.)

15. একটি দুই ইঞ্চি দীর্ঘ বস্তু একটি উত্তল লেন্স (ফোকাস-দূরত্ব – 7 inches) হইতে যথাক্রমে (*a*) 4 inches (*b*) 10 inches দূরে রাখা হইল। বিম্বের অবস্থিতি, প্রকৃতি ও দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[An object, 2 inches high, is placed from a convex lens (focal length =7 inches) at a distance of (*a*) 4 inches (*b*) 10 inches respectively Find the position, nature and the size of the image]
[Ans (a) $9\frac{1}{3}''$; অসদ্ ; $4\frac{2}{3}''$ (b) $23\frac{1}{3}''$, সদ্ , $4\frac{2}{3}''$]

16 8 cm দীর্ঘ একটি বস্তু 20 cm ফোকাস-দূরত্ব-সম্পন্ন অবতল লেন্স হইতে 10 cm. দূরে অবস্থিত। বিম্বের অবস্থিতি, দৈর্ঘ্য ও প্রকৃতি নির্ণয় কর।

[An object, 3 cm high, is placed 10 cm. away from a concave lens of focal length 20 cm. Calculate the position, height and nature of the image formed] (Ans. 6 3 cm., 2 cm : অসদ্)

17. 20 cm. ফোকাস-দৈর্ঘ্যযুক্ত একটি উত্তল লেন্সে নিম্নলিখিত রশ্মিগুচ্ছ পড়িলে কি ফলাফল গঠন করিবে নির্ণয় কর, (i) সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ, (ii) লেন্স হইতে 20 cm. দূরবর্তী কোন বিন্দু হইতে অপসৃত রশ্মিগুচ্ছ, (iii) লেন্স হইতে 5 cm. দূরবর্তী কোন বিন্দু হইতে অপসৃত রশ্মিগুচ্ছ, (iv) লেন্সের পশ্চাতে 20 cm দূরবর্তী বিন্দুর দিকে অগ্রবর্তী অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ।

রশ্মিগুচ্ছের মধ্যবর্তী রশ্মিকে লেন্সের প্রধান অক্ষ হিসাবে গণ্য করিয়া উপরোক্ত প্রতি ক্ষেত্রে একটি করিয়া পরিষ্কার ছবি আঁক।

[Explain what would be the effect of a convex lens of focal length 20 cm. upon (i) a parallel beam of light (ii) a beam diverging from a point 20 cm. from the lens (iii) a beam diverging from a point 5 cm. from the lens (iv) a beam converging to a point 20 cm. behind the lens.]

Draw careful diagrams to illustrate your answer, taking in each case the axis of the beam as the principal axis of the lens.]

[Ans. (i) converge on focus (ii) emerge as parallel beam (iii) virtual image at 6·6 cm. (iv) emerge as parallel beam.]

18. একটি উত্তল লেন্স দ্বারা লেন্স হইতে 10 metres দূরে একখানি পর্দার উপর একটি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করিতে হইবে। যদি বিবর্ধনের পরিমাণ 20 হয় তবে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব কত হইবে?

[A magnified image is to be cast on a screen 10 metres away from a convex lens. If the magnification be 20, what would be the focal length of the lens ?] (Ans 47·6 cm.)

19 একটি বালকের কাছে 10 cm. ফোকাস-দূরত্ব-সম্পন্ন একটি উত্তল লেন্স আছে। একখানি পর্দা হইতে ঐ লেন্সটিকে কত দূরে রাখিলে সূর্যের স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পর্দায় পড়িবে? লেন্স হইতে 1 metre দূরে রক্ষিত একটি মোমবাতির প্রতিবিম্ব পর্দায় ফেলিতে লেন্সটিকে পর্দা হইতে কত দূরে রাখিতে হইবে? লেন্সটির ক্ষমতা কত?

[A boy has a convex lens the focal length of which is 10 cm How far from a screen must it be to get an image of the sun on the screen ? How far from the screen must it be to get an image of a candle which is at a distance of one metre form the lens ? What is the power of the lens ?]

[An. 10 cm. , 11·1 cm. ; 10D]

20. 8 cm. এবং 4 cm. ফোকাস-দূরত্ব-সম্পন্ন দুইটি উত্তল লেন্সকে পরস্পর হইতে 8 cm. দূরে রাখা হইল। 1 cm উচ্চ একটি বস্তুকে ছোট ফোকাস-দূরত্ব-সম্পন্ন লেন্সের সম্মুখে 4 cm দূরে রাখা হইল। লেন্স দুইটি দ্বারা গঠিত শেষ প্রতিবিম্বের অবস্থান ও সাইজ নির্ণয় কর।

[Two convex lenses of focal lengths 8 cm and 4 cm. respectively are placed at a distance of 8 cm. apart and an object 1 cm. high is situated on their common axis 4 cm. in front of the lens of smaller focal length. Calculate the position and size of the final image.]

[Ans 2 cm. behind the lens of bigger focal length , 1·5 cm.]

21. 6 cm. উচ্চ একটি বস্তুকে একটি উত্তল লেন্স হইতে 40 cm. দূরে রাখা হইলে লেন্সের অপর পার্শ্বে 4 cm. উচ্চ একটি উল্টা প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। ছক কাগজের সাহায্যে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় কর।

[An object 6 cm. high is placed at a distance of 40 cm. from a convex lens, and an inverted image of height 4 cm. is formed on the other side of the lens Find the focal length of the lens graphically.] (Ans 16 cm.)

22. লেন্সের 'অনুবন্ধী' ফোকাসদ্বয় বলিতে কি বুঝায়? উহাদের ভিতর সম্পর্ক কি?

[What do you mean by conjugate pair of foci of a lens? What is their relation ?]

28. একটি বস্তু এবং পর্দা পরস্পর হইতে কিছুদূরে অবস্থিত। উহাদের মাঝে একটি উত্তল লেন্স রাখিয়া দেখা গেল যে লেন্সের দুইটি অবস্থান পাওয়া যায় যখন বস্তুর একটি করিয়া স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পর্দায় গঠিত হয়। যদি লেন্সটির দুই অবস্থানের ভিতরকার দূরত্ব x এবং দুই অবস্থানে প্রতিবিম্বের বিবর্ধন m_1 এবং m_2 হয় তবে প্রমাণ কর যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $f=\frac{x}{m_1-m_2}$

[An object is placed at a certain distance away from a screen. A convex lens situated between them can be placed in two positions, for each of which a sharp image of the object is formed on the screen. If the distance between the two positions of the lens be x and the magnification be m_1 and m_2, then prove that the focal length of the lens, $f=\frac{x}{m_1-m_2}$]

29. একটি উত্তল লেন্স [illegible] 1 cm. [illegible] একটি প্রতিবিম্ব [illegible] গঠন করিল। [illegible] প্রতিবিম্ব গঠন [illegible] এই প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য 0.75 cm. [illegible]

[An image 1 cm long of an object is formed on a screen by a convex lens. Keeping the object and screen fixed the lens is moved until a second image is formed on the screen. If the image is 0.75 cm long, what is the length of the object?] [Ans 0.87 cm]

30. [illegible] 20 cm [illegible] 5 cm. [illegible] 10 cm [illegible]

[A real image of an object is formed by a convex lens at a distance of 20 cm. from the lens. When a concave lens is placed at a distance of 5 cm. from the convex lens, the image is shifted through 10 cm. Calculate the focal length of the concave lens.] [Ans 37.5 cm.]

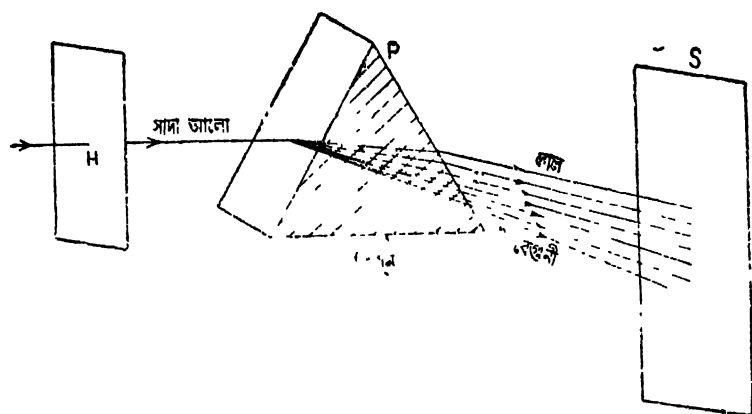
পঞ্চম পরিচ্ছেদ

আলোকের বিচ্ছুরণ
[Dispersion of light]

5-1. আলোকের বিচ্ছুরণ ঃ

1666 খ্রীষ্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী সার আইজাক নিউটন আলোকের বিচ্ছুরণ আবিষ্কার করেন। তিনি দেখিতে পান যে সূর্যরশ্মি (সাদা আলো) কাচের প্রিজমের ভিতর গেলে সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিভক্ত হইয়া পড়ে।

পরীক্ষা ঃ

এক অস্বচ্ছ পর্দায় H একটি ছিদ্র (5ক নং চিত্র)। ছিদ্র দিয়া সাদা আলোক-রশ্মি একটি প্রিজম P-এর উপর আপতিত হইল। আলোক-রশ্মি

সাদা আলো সাতটি রঙে বিভক্ত হইতেছে

চিত্র 5ক

প্রিজম হইতে নির্গত হইয়া যখন একটি পর্দা S-এর উপর পড়িবে তখন পর্দায় একটি বিভিন্ন বর্ণবিশিষ্ট পটি (band) দেখিতে পাওয়া যাইবে।

উক্ত বর্ণবিশিষ্ট পটিকে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে উহাতে রামধনুর **সাতটি বর্ণ** বর্তমান এবং উহার এক প্রান্ত লাল এবং অপর প্রান্ত বেগুনী। অন্যান্য বর্ণগুলি হইতেছে নারাঙ্গ (orange), হলদে (yellow), সবুজ (green), নীল (blue), গাঢ়নীল (indigo)। এই বর্ণগুলির ক্রমিক

অবস্থান ইংরেজী VIBGYOR (প্রত্যেক বর্ণের আদ্যাক্ষর লইয়া গঠিত) কথা হইতে পাওয়া যাইবে।

এই বর্ণবিশিষ্ট পটিকে **বর্ণালী** (spectrum) বলা হয়। প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে সাদা রঙের আলো বিশ্লিষ্ট হইয়া সাতটি বর্ণের আলোতে বিভক্ত হইবার প্রণালীকে বলা হয় **আলোকের বিচ্ছুরণ**।

বর্ণালী লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে বিভিন্ন বর্ণের আলোকের চ্যুতি (deviation) বিভিন্ন। বেগুনী বর্ণের আলোর চ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশী এবং লাল বর্ণের আলোর চ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম। ইহাকে অনেক সময় বলা হয় যে বিভিন্ন বর্ণের আলোকের **প্রতিসরণীয়তা** (refrangibility) বিভিন্ন। হলদে বর্ণের চ্যুতি লাল ও বেগুনী বর্ণের চ্যুতির মাঝামাঝি বলিয়া হলদে বর্ণের আলোককে বলা হয় মধ্যবর্তী (mean) রশ্মি।

5-2. সাদা আলোর যৌগিক প্রকৃতি (Composite nature of white light) :

সাদা আলো প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে যে-সাত বর্ণের আলোতে বিভক্ত হয় তাহা প্রমাণ করে যে সাদা আলো **যৌগিক** (composite or compound)। এই সাতটি বর্ণের আলোক-রশ্মির যে-কোন একটিকে পুনরায় একটি প্রিজমের ভিতর দিয়া পাঠাইলে তাহার আর কোন বর্ণ-বিশ্লেষণ দেখা যায় না—অর্থাৎ ইহারা প্রত্যেকটি **মৌলিক** (monochromatic) রশ্মি।

সাদা আলোর যৌগিক প্রকৃতি আরো ভালভাবে প্রমাণিত হয় যদি সাতটি বর্ণের রশ্মিকে মিশাইলে পুনরায় সাদা আলোক-রশ্মি পাওয়া যায়। নিম্নলিখিত বিভিন্ন উপায়ে সাদা আলের পুনর্যোজন করা যায়।

(1) একই ধরনের দুইটি প্রিজম দ্বারা :

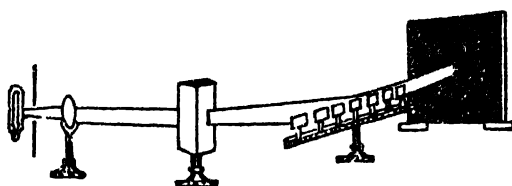
P এবং Q দুইটি একই ধরনের ও একই পদার্থে গঠিত প্রিজম পাশাপাশি উল্টা করিয়া বসানো। একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র O হইতে সাদা আলোক-রশ্মি P-প্রিজমের উপর আপতিত হইয়া বর্ণালীতে বিচ্ছুরিত হইবে কিন্তু বর্ণালীর বিভিন্ন রশ্মি Q প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে পুনর্যোজিত হইবে এবং

বিভিন্ন বর্ণের পুনর্যোজনা

চিত্র 5খ

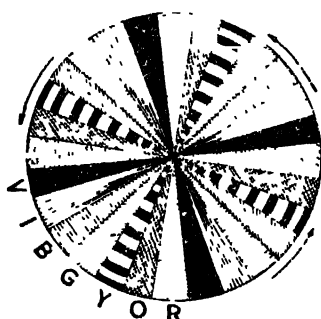
নির্গত রশ্মি একটি পর্দা S-এর উপর পড়িলে সাদা রং-এর আলোরূপে দেখা যাইবে (5খ নং চিত্র)।

(2) আয়নার সাহায্যে :

সাদা আলোর সূর্যরশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে বর্ণালীতে বিচ্ছুরিত হইল এবং প্রত্যেকটি বর্ণের আলো এক একটি প্রতিফলক আয়নার

আয়নার সাহায্যে বিভিন্ন বর্ণের পুনর্যোজনা
চিত্র 5গ

উপর এমনভাবে পড়িল যে প্রতিফলিত হইয়া সব বর্ণরশ্মিগুলি পর্দায় এক জায়গায় গিয়া মিশিল (5গ নং চিত্র)। এইরূপে পুনর্যোজিত হইবার ফলে পর্দায় সাদা রং-এর আলো দেখা যাইবে।

(3) নিউটনের বর্ণ-চাকতি (Colour-disc) দ্বারা :

ইহা একটি কার্ডবোর্ডের চাকতি। এই চাকাকে সমান সাত ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগে বর্ণালীতে যে ক্রমিক পর্যায়ে বর্ণগুলি সাজানো থাকে এবং যতখানি জায়গা দখল করে সেই অনুপাতে রং করা হয় (5ঘ নং চিত্র)। এখন, এই চাকতিকে জোরে ঘুরাইলে কোন বিশেষ বর্ণ দেখা যাইবে না — তবে চাকতিটি সম্পূর্ণ সাদা মনে হইবে। ইহার কারণ এই যে, জোরে ঘুরিবার ফলে চোখে এক বর্ণের অনুভূতি থাকিতে থাকিতে অন্য বর্ণের অনুভূতি আসিয়া পড়ে এবং এই দৃষ্টিনির্বন্ধের (persistence or vision) জন্য সাতটি বর্ণ মিশিয়া সাদা রং-এর অনুভূতি সৃষ্টি করে।

নিউটনের বর্ণ চাকতি
চিত্র 5ঘ

5-3. অশুদ্ধ ও শুদ্ধ বর্ণালী (Impure and pure spectrum) :

সাধারণভাবে আলোক-রশ্মি প্রিজম কর্তৃক বিচ্ছুরিত হইয়া পর্দায় যে আলোক-পটি গঠন করে তাহাকে **অশুদ্ধ বর্ণালী** বলে, কারণ, এই বর্ণালীতে

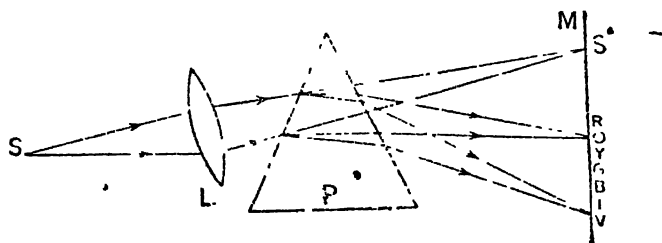
বিভিন্ন বর্ণ তাহাদের নিজস্ব জায়গা দখল করে না বা সব বর্ণ পৃথক ভাবে দৃশ্যমান হয় না। বর্ণালী অশুদ্ধ হইবার কারণ এই যে একটি মাত্র আলোক-রশ্মি পাওয়া সম্ভব নয়। যতই সূক্ষ্ম হউক না কেন রশ্মিগুচ্ছে একের অধিক রশ্মি থাকিবে। সুতরাং গুচ্ছের প্রত্যেকটি রশ্মিই বিচ্ছুরিত হইয়া নিজস্ব বর্ণালী সৃষ্টি করিবে এবং পর্দায় বর্ণালীগুলি একের উপর আর একটি গিয়া পড়িবে। ফলে বর্ণালীর সব বর্ণ পৃথক ভাবে দেখা যায় না এবং বর্ণালী অশুদ্ধ হইয়া পড়ে।

একটি সাধারণ পরীক্ষার সাহায্যেও ইহা প্রদর্শন করানো যাইতে পারে। প্রিজম হইতে নির্গত আলোক-রশ্মির পথে যদি কিছু ধোঁয়া সৃষ্টি করা যায় তবে দেখা যাবে এবং রশ্মিগুচ্ছের সীমানার নিকট রঙীন দেখা যাইবে কিন্তু রশ্মিগুচ্ছের মাঝখানে রঙীন দেখা যাইবে না। কারণ মাঝখানে বিভিন্ন বর্ণের রশ্মি একের উপর আর এক পড়িয়া সাদা রংয়ের সৃষ্টি করে।

যে-বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণ পৃথক ও স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান হয় এবং বর্ণগুলি নিজস্ব জায়গা দখল করিয়া থাকে তাহাকে **শুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়।

5·4. শুদ্ধ বর্ণালী গঠনের উপায় (Methods of producing pure spectrum):

প্রথম পদ্ধতি:

মনে কর S একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র সাদা আলো দ্বারা উদ্ভাসিত। একটি উত্তল লেন্স L এমনভাবে বসানো হইল যাহাতে M-পর্দার উপর S ছিদ্রের একটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব S′ গঠিত হয় (5 নং চিত্র)। এইবার লেন্স ও পর্দার মাঝখানে

শুদ্ধ বর্ণালী গঠন

চিত্র 5

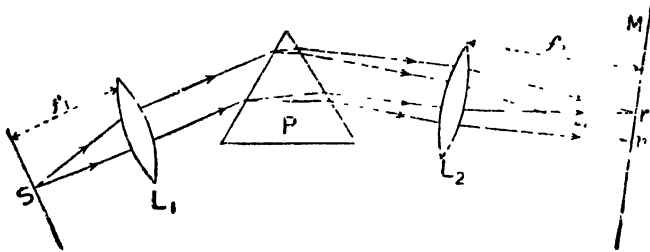
একটি প্রিজম P এমনভাবে বসানো হইল যেন মধ্যবর্তী হলুদ রশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া ন্যূনতম চ্যুতিতে (minimum deviation) গমন করিতে পারে।

প্রিজমের এইরূপ অবস্থানের ফলে অন্যান্য বর্ণের রশ্মিগুলিও প্রায় ন্যূনতম চ্যুতিতে গমন করিবে এবং প্রিজমের অভ্যন্তরে তাহাদের পথের বিশেষ তারতম্য হইবে না। সুতরাং ছিদ্র হইতে সাদা আলো প্রিজম কর্তৃক বিচ্ছুরিত হইয়া পর্দার উপর সাতটি রঙের ছিদ্রের প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করিবে এবং এই বর্ণগুলিকে আলাদাভাবে এবং স্পষ্ট দেখা যাইবে।

দ্বিতীয় পদ্ধতি :

(খ) S একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র L_1 উত্তল লেন্সের ফোকাসে অবস্থিত। সুতরাং ছিদ্র হইতে নির্গত সাদা আলোক-রশ্মিগুচ্ছ লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া

শুদ্ধ বর্ণালী গঠন

চিত্র 5চ

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অতঃপর একটি প্রিজম P-এর উপর আপতিত হইল (5চ নং চিত্র)। প্রিজমটি মধ্যবর্ণের রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে স্থাপিত। ফলে আপতিত সাদা রশ্মিগুচ্ছ প্রিজম কর্তৃক এমনভাবে বিচ্ছুরিত হইবে যে সব লালবর্ণের রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল ; সব বেগুনীবর্ণের রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল ইত্যাদি। এইবার এই বিভিন্ন বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুলি আর একটি উত্তল লেন্স L_2-তে আপতিত হইলে এই লেন্স সব বর্ণরশ্মিগুলিকে পৃথক্ পৃথক্ ভাবে পর্দার উপর কেন্দ্রীভূত করিবে। সুতরাং পর্দায় স্পষ্টভাবে সাতটি বর্ণ দেখা যাইবে। পর্দাটিকে L_2 লেন্সের ফোকাস-তলে রাখিতে হইবে

শুদ্ধ বর্ণালী গঠনের শর্ত (Conditions of forming pure spectrum) :

শুদ্ধ বর্ণালী গঠনের উপরোক্ত পদ্ধতি হইতে বোঝা যায় যে, ইহার জন্য নিম্নবর্ণিত শর্তগুলি প্রয়োজন :—

(1) ছিদ্র খুব সূক্ষ্ম হওয়া প্রয়োজন—কারণ ছিদ্র বড় হইলে অনেক রশ্মি নির্গত হইয়া প্রিজমে পড়িবে এবং উহাদের প্রত্যেকের বর্ণালী একের সহিত অপরে মিশিয়া অশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবে।

(2) একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করিয়া প্রিজমের উপর আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে সমান্তরাল করিতে হইবে। ইহাতে একই বর্ণের বিভিন্ন রশ্মিগুলির চ্যুতি সমান হইবে।

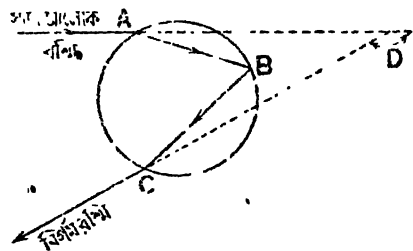
(3) প্রিজমকে মধ্যবর্তী স্থলে রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে স্থাপন করিতে হইবে। ফলে অন্যান্য রশ্মিও প্রায় ন্যূনতম চ্যুতিতে নির্গত হইবে।

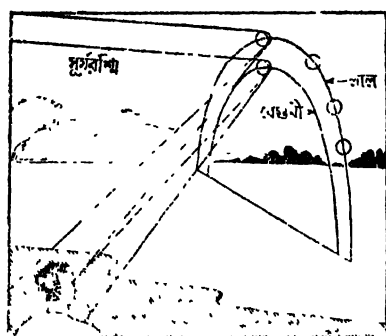
(4) একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করা প্রয়োজন যাহা ছিদ্রের বিভিন্ন বর্ণের প্রতিবিম্ব পর্দার উপর গঠন করিবে—অর্থাৎ শুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবে।

5-5. রামধনু (Rainbow) :

সকালের দিকে বা বিকালের দিকে যখন আকাশের একপ্রান্তে বৃষ্টি পড়ে এবং বিপরীত প্রান্ত হইতে সূর্যরশ্মি আসিয়া পড়ে তখন রামধনুর সৃষ্টি হয়, তাহা তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। ইহা আর কিছুই নয়, আকাশের গায়ে ধনুকের ন্যায় বাঁকানো বিভিন্ন বর্ণের সারি।

এই রামধনুর সৃষ্টি সাদা আলোকের বিচ্ছুরণের জন্য হইয়া থাকে। মনে কর, একটি সাদা সূর্যরশ্মি একটি গোলাকার বৃষ্টির ফোটার উপর A বিন্দুতে পড়িল। রশ্মি ফোটার ভিতরে প্রবেশ করিলে প্রতিসৃত হইবে এবং B বিন্দু হইতে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় ফোটার উপর C বিন্দুতে আপতিত হইবে। রশ্মিটি ফোটার ভিতর হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিলে পুনরায় প্রতিসৃত হইবে (5চ নং চিত্র)। এই প্রতিসরণের ফলে রশ্মিটি বিভিন্ন বর্ণে বিভক্ত হইবে, যেমন সাদা রশ্মি প্রিজমের ভিতর প্রতিসৃত হইলে বিভক্ত হয়। চিত্র হইতে বোঝা যায় যে রশ্মিটি ফোটা হইতে বাহির হইলে উহার পথের বিচ্যুতি হয়। এই চ্যুতির পরিমাণ ∠D (চিত্র দেখ)। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে কোন বিশেষ বর্ণের

চিত্র 5চ

রশ্মি যদি ন্যূনতম চ্যুতি লইয়া নির্গত হয় এবং মানুষের চোখে পৌঁছায় তবে

চোখে ঐ বর্ণের প্রবল অনুভূতি হয়। হিসাব করিলে দেখা যাইবে যে লালবর্ণের ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ প্রায় 138° এবং বেগুনী বর্ণের ন্যূনতম চ্যুতিকোণ প্রায় 140°.

রামধনু
চিত্র 5ঙ

এখন, মনে কর যে, আকাশের এক প্রান্তে বৃষ্টি হইতেছে এবং বিপরীত প্রান্ত হইতে সূর্যরশ্মি বৃষ্টির কণাগুলির উপর পড়িতেছে। একজন দর্শক সূর্যের দিকে পিছন ফিরিয়া এবং বৃষ্টির দিকে মুখ করিয়া দাঁড়াইয়া আছে (5ঙ নং চিত্র)। দর্শকের পক্ষে আকাশের গায়ে এমন একটি বৃত্তের চাপ (arc of a circle) কল্পনা করিতে হইবে যে-চাপের উপর অবস্থিত জলবিন্দুগুলি দ্বারা সূর্যরশ্মি 138° চ্যুতি-কোণে দর্শকের চোখে পৌঁছায়। তাহা হইলে ঐ জলবিন্দুগুলি দর্শকের নিকট লাল বলিয়া প্রতিভাত হইবে এবং দর্শক একটি লাল রংয়ের ধনুকের মত বাঁকানো বৃত্তাংশ দেখিতে পাইবে। ঐ জলকণাগুলি অন্য কোন রঙের রশ্মি দর্শকের চোখে পাঠাইবে না, কারণ অন্য রঙের রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ 138° নয়। তেমনি যদি আর একটি বৃত্তের চাপ কল্পনা করা যায় যে চাপের উপর অবস্থিত জলবিন্দুগুলি দ্বারা সূর্যরশ্মি 140° চ্যুতি-কোণে দর্শকের চোখে পৌঁছায় তবে দর্শক ঐ বৃত্তাংশকে বেগুনী রঙের দেখিবে। এইভাবে অন্যান্য রঙের বৃত্তাংশও দর্শকের চোখে প্রতিভাত হইবে। ইহাকে প্রাথমিক (primary) রামধনু বলে। কখন কখন প্রাথমিক রামধনুর উপরে আর একটি অস্পষ্ট রামধনু দেখিতে পাওয়া যায়। ইহাকে গৌণ (secondary) রামধনু বলে।

প্রাথমিক রামধনুর বৃত্তের বাহিরের দিকে লাল এবং ভিতরের দিকে বেগুনী বর্ণ থাকে। অন্যান্য বর্ণগুলি এই দুই বর্ণের মাঝখানে নিজস্ব জায়গা অধিকার করিয়া থাকে। গৌণ রামধনুতে বর্ণের সজ্জা ইহার উল্টা, অর্থাৎ বৃত্তের বাহিরে থাকে বেগুনী এবং ভিতরে থাকে লাল।

5-6. বিভিন্ন বস্তুর বর্ণ (Colour of different bodies):

আমরা প্রতিদিন নানাবর্ণের বিভিন্ন বস্তু দেখি। লালফুল, নীল কাগজ, সবুজ কাচ ইত্যাদি বহু প্রকার বর্ণের জিনিস আমরা দেখিতে পাই। এই সকল বস্তুর বর্ণ কিরূপে সৃষ্টি হয় জান কি ?

যে-সকল বস্তু অস্বচ্ছ, তাহারা যে-বর্ণের আলোক-রশ্মিকে প্রতিফলিত করে সেই রংয়ে রঙীন হয়। যেমন, লাল ফুল আমরা লাল দেখি কারণ সাদা আলো ঐ ফুলের উপর পড়িলে ফুল শুধু লাল বর্ণের আলো-কে প্রতিফলিত করে—অন্যান্য বর্ণের আলো শুষিয়া লয়। কিন্তু ঐ ফুলের উপর নীল রংয়ের আলো ফেলিলে ফুলকে আর লাল দেখাইবে না, কালো দেখাইবে—কারণ ফুল এ অবস্থায় নীল আলো-কে শোষণ করিয়া লইবে এবং কোন আলোই প্রতিফলিত করিবে না। তেমনি সবুজ কাপড় শুধু সবুজ বর্ণের আলো-কে প্রতিফলিত করিবে—অন্যান্য বর্ণের আলোক-রশ্মিকে শুষিয়া লইবে। তবে কাপড় বা অন্যান্য জিনিস কালো বা সাদা দেখায় কেন? মনে রাখিতে হইবে যে **সাদা বা কালো কোন বিশেষ বর্ণ নয়।** কোন বর্ণ না থাকিলে জিনিস কালো দেখাইবে—আর সকল বর্ণ উপস্থিত থাকিলে ঐ জিনিসকে সাদা দেখাইবে। কালো কাপড়ের উপর যখন সাদা আলো পড়ে তখন ঐ কাপড় সাদা আলোর সাতটি রংয়ের আলোক-রশ্মিকেই শুষিয়া লয়—কোন আলোক-রশ্মিকেই প্রতিফলিত করে না। তাই উহাকে কালো দেখায়। আবার, সাদা কাপড়ের উপর সাদা আলো পড়িলে, ঐ কাপড় সাতটি রংয়ের আলোক রশ্মিকেই প্রতিফলিত করে। সুতরাং উহাকে সাদা দেখায়।

কিন্তু যে-সকল বস্তু স্বচ্ছ—যেমন কাচ ইত্যাদি—তাহারা যে-বর্ণের আলোক-রশ্মিকে নিজেদের ভিতর দিয়া সংবাহিত (transmit) করিবে সেই রংয়ে রঙিন হইবে। লাল রংয়ের কাচের উপর সাদা আলো পড়িলে, উহার ভিতর দিয়া শুধু লাল রঙের আলো চলিয়া যাইবে—অন্য বর্ণের আলো যাইবে না। তাই কাচকে লাল দেখাইবে। কিন্তু উহার উপর অন্য যে-কোন বর্ণের আলো পড়িলে কাচটি আর লাল দেখাইবে না—কালো দেখাইবে। একখানি লাল কাচ এবং একখানি সবুজ কাচ পর পর রাখিয়া উহাদের সূর্যালোকের দিকে ধর। দেখিবে উহাদের কালো দেখাইতেছে। কারণ প্রথম লাল কাচ লাল-বর্ণের রশ্মিকে নিজের ভিতর দিয়া যাইতে দিবে, কিন্তু উহা যখন পরের সবুজ কাচের উপর পড়িবে তখন আর ঐ কাচের ভিতর দিয়া নির্গত

হইতে পারিবে না। তাই, উহাদের একসঙ্গে রাখিলে কালো দেখাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে স্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ ঐ বস্তুর ভিতর দিয়া নির্গত আলোক-রশ্মির বর্ণের উপর নির্ভর করে।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে তিনটি বিশেষ বর্ণ যথোপযুক্ত ভাবে মিশাইলে যে-কোন বর্ণ সৃষ্টি করা যায়। এই তিনটি বিশেষ বর্ণ হইতেছে লাল, সবুজ এবং নীল। ইহাদের বলা হয় **প্রাথমিক বর্ণ** (Primary colours)।

তা ছাড়া, যদি দুইটি বর্ণের মিশ্রণে সাদা বর্ণের সৃষ্টি হয় তবে ঐ বর্ণ দুইটিকে বলা হয় **পরিপূরক বর্ণ** (complementary colours)। যেমন, হলুদে এবং গাঢনীল অথবা নারাঙ্গ এবং নীল মিশাইলে সাদা বর্ণের সৃষ্টি হইবে। ইহারা পরিপূরক বর্ণ।

সারাংশ

প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে সাদা রঙ-এর আলো বিশ্লিষ্ট হইয়া সাতটি বর্ণের আলোতে বিভক্ত হইবার প্রণালীকে আলোকের বিচ্ছুরণ বলে এবং এই বর্ণের পটিকে বলা হয় বর্ণালী। সার আইজাক্ নিউটন প্রথম ইহা আবিষ্কার করেন।

সাদা আলোক-রশ্মি যে সাত রং-এর আলোক-রশ্মিতে বিভক্ত হয় তাহাদের বিভিন্ন উপায়ে পুনর্যোজন করিয়া সাদা রঙ সৃষ্টি করা যায়। ইহা সাদা আলোর যৌগিক প্রকৃতির প্রমাণ।

অশুদ্ধ ও শুদ্ধ বর্ণালী :—

যে বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণ পৃথক্ ও স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান হয় না ও বিভিন্ন বর্ণগুলি নিজের জায়গা দখল করে না তাহাকে অশুদ্ধ বর্ণালী বলে।

যে-বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণ পৃথক ও স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান হয় না ও বিভিন্ন বর্ণগুলি নিজস্ব জায়গা দখল করে তাহাকে শুদ্ধ বর্ণালী বলে।

বিভিন্ন উপায়ে শুদ্ধ বর্ণালী গঠন করা যায়।

রামধনু : সূর্যের সাদা আলো বৃষ্টির ফোটা কর্তৃক প্রতিসৃত ও বিচ্ছুরিত হইয়া রামধনু সৃষ্টি করে। প্রাথমিক রামধনুর বৃত্তের বাহিরের দিকে লাল ও ভিতরের দিকে বেগুনী বর্ণ থাকে। গৌণ রামধনুতে উহার উল্টা।

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের বিচ্ছুরণ বলিতে কি বুঝায় ? বর্ণালী কাহাকে বলে ?

[What is dispersion of light ? What is called a spectrum]

[*cf. H. S. (comp.) 1962, '64*]

2. সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি কিরূপে প্রমাণ করা যায় ?

[How can you prove the composite nature of white light ?]

3. শুদ্ধ ও অশুদ্ধ বর্ণালী কাহাকে বলে ? পর্দার উপর শুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবার প্রণালী বর্ণনা কর।

[What are pure and impure spectrum ? Describe a method for producing a pure spectrum on a screen.] [*H. S (comp.) 1962, '64*]

4. আলোকের বিচ্ছুরণ বলিতে কি বুঝায় ? রামধনুতে কি কি রং দেখা যায় ? সাদা আলোতে রামধনুর সব কয়টি রং আছে তাহা প্রমাণ করিবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। উহার একটি পরিষ্কার ছবি আঁক।

[What is dispersion of light ? What are the colours seen in a rainbow ? Describe an experiment to prove that the colours of the rainbow are present in white light. Give a neat diagram] [*H. S Exam. 1962*]

5. সহজ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর যে বিভিন্ন বস্তুর বর্ণ নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে :—

(ক) যে বর্ণের আলো বস্তুর উপর আপতিত হয়।

(খ) বস্তু অস্বচ্ছ হইলে, যে বর্ণের আলো বস্তু কর্তৃক প্রতিফলিত হয়।

(গ) বস্তু স্বচ্ছ হইলে যে বর্ণের আলো বস্তুর ভিতর দিয়া নির্গত হয়।

[Describe simple experiments to prove that the colour of different bodies depends on :-

(a) The colour of the light incident upon it

(b) The colour of the light reflected by the body, if it is opaque.

(c) The colour of the light transmitted by the body, if it is transparent]

[Objective type questions]

(A) Alternate Response Type .

(i) *Yes or No type* :

(ক) সকল মাধ্যমে আলোর গতিবেগ কি সমান ? —

(খ) আলোকে কি একপ্রকার শক্তি বলিয়া গণ্য করা সম্ভব ? —

(গ) বর্ণালীর বিভিন্ন বর্ণের চ্যুতি কি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে ? -

(ঘ) লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে আলোক-রশ্মি প্রবেশ করিলে রশ্মির গতিপথ কি আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় ?

(ঙ) এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হইলে রশ্মির সব অংশই কি প্রতিফলিত হয় ?

(ii) True or False type :

(ক) যদি প্রতিফলকের তল অমসৃণ হয় তবে প্রতিফলন বিক্ষিপ্ত হয়; কিন্তু গুচ্ছের প্রতিটি রশ্মির নিয়মিত প্রতিফলন হয়। —

(খ) কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে না। —

(গ) আপতিত রশ্মির কোন দিক পরিবর্তন না করিয়া দর্পণকে কোন কোণে ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি উহার সমান কোণে ঘুরিবে। —

(ঘ) কোন সরু লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া আলোক-রশ্মি গেলে রশ্মির কোন প্রতিসরণ হয় না। —

(ঙ) সাদা আলোর প্রকৃতি যৌগিক; কিন্তু বর্ণালীর অন্যান্য রঙের রশ্মির প্রকৃতি মৌলিক। —

(B) Recall type :

(ক) প্রতিফলনের সময় আপতন কোণ সর্বদা প্রতিফলন কোণের-- হইবে। —

(খ) আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা--হয়। -

(গ) উত্তল লেন্সকে— লেন্স বলা হয়। -

(ঘ) সাদা আলো প্রিজমের ভিতর দিয়া গেলে— বর্ণে বিভক্ত হয়। –

(C) Completion type :

(ক) যখন কোন বিন্দু—(a) হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ—(b) বা প্রতিসৃত হইয়া অন্য কোন বিন্দুতে-(c) হয় বা অন্য কোন বিন্দু হইতে--(d) হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তখন ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দু প্রভবের— (e) বলা হয়।

--(a)—(b) -(c)--(d)--(e)

(খ) রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে (a) মাধ্যমে গেলে এবং আপতন কোণ মাধ্যমদ্বয়ের--(b) কোণ অপেক্ষা—(c) হইলে রশ্মির পূর্ণ অভ্যন্তরীণ—(d) হয়।

—(a)—(b)--(c)—(d)

(গ) তাপ, বিদ্যুৎ প্রভৃতির ন্যায় আলোকও শক্তির (a) রূপ [illegible] —(b) করে কিন্তু নিজে—(c)।

—(a)—(b)--(c).

(D) Multiple choice type :

(ক) প্রিজমের ভিতর দিয়া সাদা আলো গেলে যে প্রণালীতে উহা বিভিন্ন রঙের রশ্মিতে বিভক্ত হয় উহাকে কি বলে? উঃ। প্রতিসরণ, প্রতিফলন, বিচ্ছুরণ।

(খ) সূর্যগ্রহণের সময় কোন বস্তু আলোক-রশ্মি পথে প্রতিবন্ধক হিসাবে কাজ করে?

উঃ। চন্দ্র, পৃথিবী, সূর্য।

(গ) কোন রশ্মি অক্ষের সমান্তরালভাবে আসিয়া উত্তল লেন্সে পড়িলে কোন দিকে যাইবে? উঃ। ফোকাস-বিন্দুর মধ্য দিয়া, আলোক-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া, অক্ষের সমান্তরালভাবে।

(অবতল লেন্স সর্বদা কি ধরনের প্রতিবিম্ব গঠন করে?

। সদ, অসদ, উল্টা, সোজা।

BOARD OF SECONDARY EDUCATION
WEST BENGAL

HIGHER SECONDARY EXAMINATION QUESTIONS

1960 : PHYSICS—First Paper

Group A (Answer *any two*)

1. State and explain the principle of Archimedes.

Apply it to determine the volume of a body which sinks in water.

A specific gravity bottle completely filled with water, with mercury and with copper sulphate solution weighs respectively 45 gm., 297 gm., and 49 gm., calculate the density of the solution, that of mercury being 13.6 gm./c.c. 2+3+5

2. What do you mean by "acceleration due to gravity" ?

What are the units in which this quantity is expressed in the c. g. s. and f. p. s. systems ?

Define 'weight of a body'.

Describe an instrument by which the weight of a body can directly be measured. Give a neat diagram of the instrument.

2+1+2+5+2

3. Explain the meaning of the statement that the atmospheric pressure at a place is 760 *mm.* of mercury. Calculate its value in the c. *g. s.* units at a place where *g* = 980 c. *g. s.* units. (Density of mercury = 13.6 gm./c.c.)

Describe the construction of a simple mercury barometer.

A bubble of air is introduced into the space above the mercury of a good barometer, 1 *sq. cm* in cross-section and the mercury column falls from 75 *cm* to 65 *cm*. If the space before introduction of air was 6 *cm* long, calculate the volume which the introduced air will occupy at normal atmospheric pressure.

4. Define 'Longitudinal stress' 'Longitudinal strain' and 'Young's modulus'.

Derive the unit in which Young's modulus should be expressed in the *c. g. s.* system.

Find the load, in kilograms, required to stretch a vertical steel wire, 628 *cm* long and 2 *mm* in diameter by one more *millimetre* in length. Y for steel = 2×10^{12} *c. g. s.* units and *g* = 980 *c. g. s.* units.

Group B (Answer *any two*)

5. Describe the construction of a Doctor's thermometer. Give a neat diagram. 5+2

Why should the thermometer be of uniform bore ? Find the temperature which will be expressed by the same number both on the Fahrenheit and the Centigrade scales 3+5

6. *Either*, Explain 'specific heat of lead is 0·03.' Define 'Thermal capacity'. 2+2

Two exactly similar kettles—one containing water and the other an equal mass of milk—are placed side by side on fire. The rise of temperature of milk is found to take place at a quicker rate than in the case of water. Explain. 3

Indicate briefly how you would determine the specific heat of a solid. 4

200 gm. of lead are heated upto 100°C and dropped into a vessel containing 200 gm. of a liquid of sp heat 0·5. If the initial temperature of the liquid were 0°C, find its final temperature, assuming that the vessel does not absorb any heat 4

Or, Define the term 'co-efficient of linear expansion of a solid'. 2

How does it depend on the scales of length and temperature used ? Work out the relation between the co-efficients of linear and cubical expansion of the same solid. 2+2+4

What must be the length of a rod of zinc at 59°F., if its length is to increase by 5 *mm*, when the temperature is raised to 100°C. ? (Co-efficient of linear expansion of zinc = 0·000029 per degree centigrade)

7. Define 'Dew point'.

Of what use is it when it has been found ? 3

What is the condition of the atmosphere when its dew point is equal to the temperature of the atmosphere ? If the temperature of a room is raised, explain what the effect will be on (i) the dew point, (ii) the relative humidity of the atmosphere in the room. 3+3

8. Mention two common examples to illustrate transformation of work into heat. 1

Explain "mechanical equivalent of heat is 4·2 Joules" per calorie. 4

What is a Joule ? 2

How much work must be done to supply the heat necessary to covert 50 gm. of ice at 0°C into water at 100°C ?

(Laten heat of fusion of ice = 80 calories/gm.)

Group C (Answer *any one*)

9. **Describe experiments to illustrate**

(i) how sound is produced, and (ii) that a medium is necessary for the transmission of sound. 4 + 1

A gun is fired from a fort at a fixed hour. An observer, from a distance, sets his watch by the report of the gun, but finds later that it is slow by half a minute. Can you say, why? 2

Can you calculate the distance (in miles) of the fort from the observer, assuming the velocity of sound to be 1,100 ft./sec ? 1

10. What is the function of the hollow body of a violin? 3

How is it that the sound of a violin appears to be different from that of a piano although the same tune is played on both? 4

Define the terms 'Fundamental' and 'Harmonic'.

If the fundamental be emitted by a length of 24 cm. of a wire of a violin, what length of the same wire will emit the next octave? 2

1960 : PHYSICS Second Paper

Group A (Answer *any two*)

1. State the laws of reflection of light. 4

Show that the rays from a luminous point falling upon a plane mirror proceed after reflection, as though they diverge from a single point. 3

What is that point called? What is its position? And nature? 3

When a plane mirror is rotated through an angle show that a ray reflected therefrom is turned through an angle twice as much [illegible]

2. Define 'refractive Index' and explain the terms 'critical angle' and 'total internal reflection'. Find a relation between the critical angle and refractive index. 3 + 1 + 3

Trace the path of a ray falling normally upon a 60° prism of glass—the critical angle for glass being 42°. (Consider only two faces of prism.) 3

3. Explain, with a diagram, the working of a pin-hole camera. 3

What is the effect of increasing the size of the hole? 3

A man, $5\frac{1}{2}$ feet high, is standing at a distance of 5 feet from a street lamp, the flame of which is 9 feet above the horizontal road-way. Find the length of the man's shadow. 4

4. Define "focal length" of a convergent lens. 2

Draw a neat diagram to show how a convergent lens forms a real image of a linear object placed perpendicular to the axis of the lens. 3

Hence deduce a relation between the object-distance, the image-distance and the focal length of the lens. 5

Find the position, nature and size of the image of an object, 1 inch high, placed, in front of a convex lens, at a distance of twice the focal length of the lens 5

Group B (Answer *any three*)

5. How would you prepare a small bar magnet ? 5

State the nature of polarity developed at the ends of the bar. How would you test the polarity ? 2+2

Describe the nature of the earth's magnetic field 6

6. Give the diagram of a gold leaf electroscope with index of parts. (No description is necessary).

How is the instrument to be used for testing the nature of charge on an insulated conductor. 4

'Repulsion is the surer test of electrification' Explain 3

7. State and explain the defects of a simple voltaic cell. 2+3

What is meant by the terms 'Electromotive Force' and 'Potential Difference' as applied to cells. 3+2

8. How do you arrange two resistances (i) in parallel and (ii) in series ? 4

Find out the effective resistance in each case 3+3

Two lamps, each of resistance 50 ohms are arranged in series with 100 cells, all joined in series. If the internal resistance of each cell be 1 ohm and the e. m. f. of each cell 1.5 volts calculate the current in the lamps. 5

9. Describe Barlow's wheel and explain its action. Give a neat diagram. 1+4

What does this illustrate ? 3

10. You are given a coil of wire connected to the terminals of a sensitive galvanometer. State, giving reasons, what will happen when—

(i) the N-pole of a bar-magnet is quickly introduced into the coil :

(ii) it is kept there.

(iii) it is quickly withdrawn.

1960 : PHYSICS (Compartmental)—First Paper

Group A (Answer *any two*)

1. Distinguish between 'density' and 'specific gravity'. Prove that they are expressed by the same number in the C. G. S. System.

Calcutta the height, in metres, of a vertical column of glycerine (sp. gr. 1·26) which will balance the atmospheric pressure at a place where the barometric height is 756 m.m. (Density of mercury = 13·6 gm/c.c.)

2. Explain the meanings of 'Pressure' and 'Thrust' as applied to a liquid

How would you prove experimentally that the pressure at a point inside water is the same in all directions ?

The depth of a sea at a point is 1320 ft. What is the pressure in pounds per sq. inch at the bottom of the locality ? [Neglect pressure of air on the surface. 1 c. ft. of fresh water weighs 62·4 pounds : sp. gr. of sea-water is 1·03]

3. What is a Vernier and what is meant by Vernier constant ?

If 19 division of the main scale coincide with 20 division of the vernier scale, what is the Vernier constant ? (One division of the main scale = 1 *mm*).

In reading the height of the mercury column in a barometer in which the above Vernier is provided it is found that the main scale reading is 756 *mm* and the 16th division of the Vernier scale coincides with a division of the main scale, what value does this give for the barometric height ?

4. Explain the action of a siphon. State its use

What conditions must be fulfilled for the working of a siphon ?

It is required to siphon kerosene (sp. gr. 0·8) over an obstacle. What must be the limiting height of the obstacle which will render siphoning just possible ? (Atmospheric Pressure = 30 inches of mercury)

Group B (Answer *any two*)

5. Explain how the fixed points of a thermometer are determined.

How could a thermometer be used to find whether the atmospheric pressure were above or below the normal ?

The readings of a faulty centigrade thermometer at the lower and upper fixed points are respectively ; 0·5 and 100·8. Find the correct temperature on the centigrade scale when the faulty thermometer reads 29.

6. *Either* Define the terms "Calorie" and "B. T. U."

Distinguish between the "Water-equivalent" and the 'Thermal Capacity' of a body.

State the units used in expressing them in any one system.

An iron sauce pan contains 100 gms of water at 25°C. 50 gms. of water at 60 C are poured into the pan and the resultant temperature is found to be 35°C. Calculate the water equivalent of the pan assuming no loss of heat by radiation or otherwise. If the mass of the pan be 238 gms., what is the specific heat of iron ?

Or, Distinguish between the coefficients of real and apparent expansion of a liquid.

How are they related ? 3

A long glass tube of uniform capillary bore contains a thread of mercury, 1 metre long, at 0 C. When the temperature is raised to 100 C, the thread of mercury is found to be 16·5 *mm* longer. If the co-efficient of absolute expansion of mercury be 0·000182, calculate the coefficient of linear expansion of glass. 6

7. Explain any *three* of the following statements— 5+5+5

(*a*) Water can be made to boil at any temperature, above or below 100 C

(*b*) Vapour-pressure of a liquid at 25 C is 30 *mm*.

(*c*) Wet clothes usually dry sooner in winter than in the rainy season though the temperature during the rainy season is higher.

(*d*) A glass tumbler is seen to "cloud over" on the outside when ice-cold water is poured into it

(*e*) Two blocks of ice when pressed together form a single mass

8. What are the different modes of propagation of heat ? 3

Explain each of them with suitable illustrations. 6

Explain the working of Davy's Safety Lamp 6

Group C (Answer *any one*)

9. Explain, with the help of a suitable diagram the mode of propagation of sound, through air emitted by a vibrating tuning fork. 6+4

If the distance between a pair of adjacent condensations in air be 1½ metres when the sound of a tuning fork is propagated through it and the velocity of sound in air be 320 metres sec, what is the frequency of the tuning fork ? 5

10. What is an echo ? 4

Explain how the phenomenon of echo is employed to measure the depth of oceans 6

A man standing away from a cliff hears the echo of a sound 2 seconds after it was produced by him. What is the distance of the cliff from the man ?

(Velocity of sound in air = 320 metres, sec.) 5

1960 : PHYSICS (Compartmental)—Second Paper

Group A (Answer *any two*)

1. The image formed by a single reflection at a plane mirror is said to be "laterally inverted" Explain this 5

If a man runs towards a plane mirror at the rate of 5 ft./sec. at what rate will he approach his image ? 5

Calculate the minimum size of a plane mirror, fixed on the wall of a room, in which an observer can see the full size of himself 4

2. Distinguish between "Umbra" and "Penumbra" [illegible]

State the physical principle involved in the formation of shadows. [illegible]

Indicate by means of neat diagram, the regions of Umbra and Penumbra, if any, due to spherical obstacle by— 3+3+[illegible]

(*i*) a point source of light ;

(*ii*) a luminous sphere smaller in size than the obstacle ;

(*iii*) a luminous sphere larger in size than the obstacle

(No description is necessary)

3. State Snell's Law Refraction.

How would you verify the law ? [illegible]

Explain any *two* of the following statements : 4+[illegible]

(*i*) To an observer standing beside a swimming poll water appears to be less deep than it really .

(*ii*) A smoked ball on being introduced into a beaker of water appears silvery white.

(*iii*) The image of a pin seen through a glass prism by sun' light appears coloured.

(*iv*) A number of images are visible when a bright object is held in front of a thick plane mirror silvered at the back.

4. Distinguish between a real and a virtual image. 3

Show *only* by a diagram, how a convex lens can be made to give (*a*) a virtual, (*b*) a real image of an object. [illegible]

An object, 1 cm. long is placed 100 cm. in front of a convex lens of focal length 20 cm. perpendicular to the axis of the lens What is the position, nature and size of the image formed ? 6

Group B (Answer *any three*)

5. What is the difference between a permanent magnet and a magnetic substance ? [illegible]

How would you distinguish one from the other ? 3

. **Explain magnetic induction.** **3**

The N-pole of a strong magnet A is made to approach the N-pole of a freely suspended weak magnet B.

State and explain how the N-end of B would behave, (*a*) while A is at some distance from B, (*b*) when A is brought quite close to B.

6. By what experiment would you prove that both positive and negative electrifications are produced simultaneously and in equal quantities by friction. 6

What is electron ? 4

Explain the phenomenon of electrification by friction from the point of view of Electron Theory. 5

How would you set up a Leclanche cell ? 4

Show how the chief defects of a simple Voltaic cell are overcome in the Leclanche cell.

A wire of resistance 20 ohms is connected to the terminals of a battery of 4 cells in series, each of *e. m. f.* 1.5 volts and internal resistance 1.2 ohms. Calculate the strength of the current in the wire. 4

Draw a neat figure in connection with the problem. 2

8. State Ohm's Law explaining clearly the symbol used. 3

Show that the law provides a definition of electrical resistance.

What are the factors upon which the resistance of a wire depends ? 4

One kgm. of copper is drawn up into a wire, (*a*) 1 *mm.* diameter (*b*) 2 *mm.* diameter. Compare their resistance at the same temperature. 6

9. Describe the construction of an electromagnet. Give a neat diagram. 4

If a particular end of the electromagnet is to be the north Pole, show, in the diagram, the direction of the current through the coil. 2

How does it differ from an artificial magnet ? 3

10. Describe Roget's vibrating spiral and explain the principle of action of the apparatus. 10

A wire is connected to the terminals of hidden battery. Devise an experiment to find out which end of the wire is connected to the positive pole of the battery ?

1961 : PHYSICS—First Paper

Attempt any **two** *questions from Group A, any* **two** *from group B, and only* **one** *from group C.*

Group A

1. State Newton's second law of motion and explain how the unit of force is derived therefrom.

Define the Absolute and Gravitational units of force in the Metric and the British system.

A force of 100 dynes acts upon a mass of 25 gms. for 5 seconds. What velocity does it generate ? 3 + 1+4 + 4

2. Describe the principle and action of a Hydraulic Press. Give a neat sectional diagram.

A bottle is completely filled with oil and corked. If the diameters of the neck and bottom of the bottle be one half inch and 3 inches respectively, calculate the thrust on the bottom when the cork is pressed with a force of 5 lbs. wt. 5, 5, 5

3. Distinguish between Potential energy and Kinetic energy, stating how they are measured.

What is a 'Horse Power' ?

What should be the H. P. of an engine which is intended to pump 250 gallons of water per minute to a height of 40 yards ?

[One gallon of water weighs 10 pounds.] 1+4+2+5

4. What is Torricelli's vacuum ?

Is it, strictly speaking, a vacuum ?

State, giving reasons, what happens in the following cases :

(a) A glass tube, 50 inches long, closed at one end, is entirely filled with mercury and inverted vertically over a trough of mercury.

(b) The tube is inclined to the vertical.

(c) The tube is replaced by one with a wider bore.

The volume of a bubble of air is doubled in rising from a depth of h metres in a sea to the surface. If the barometric height be 750 mm. and the relative densities of mercury and sea-water are respectively 13·58 and 1·05, calculate h. 2+2+6+5

Group B

5. Give a labelled diagram of the apparatus you would use for determining the highest day temperature and the lowest night temperature in a room.

Explain how the apparatus is read and set.

The highest temperature on a certain day was observed to be 120·2° on the Fahrenheit scale. What should have been the corresponding indication on the Centigrade scale ? 6+4+5

6. Explain the meaning of Latent heat of fusion of a substance.

Describe how you would determine melting point of paraffin.

What is the result of mixing 8 lbs. of copper at 100°C with 2 lbs. of ice at 0°C ? [Specific heat of copper=0·1, Latent heat of fusion of ice=80 calories/gm.] 4+6+5

7. Distinguish between 'Saturated' and 'Unsaturated' vapour.

Devise a simple experiment by which the aqueous tension at the room temperature may be determined.

A brass pitcher and a porous earthenware jar are both filled with water and placed side by side in air. Would you notice any difference in temperature between the two after some time ? If so, why ?

8. Mention *two* examples which lead to the conclusion that heat is a form of energy.

What relation has been established between work done and heat developed ?

Define Joule's equivalent. What is the value in the c. g. s system ?

An iron ball having fallen from rest through [illegible] metres contains kinetic energy sufficient to raise the temperature through [illegible]7°C. What value does this give for the mechanical equivalent of heat ?

[Specific heat of iron = 0·1, g = 980 cms./sec^2] 4, 2, 2.

Group C

9. What is a tuning fork ? What is the special characteristics of the sound it emits ?

By what device can the sound of a tuning fork be made audible to a large audience ?

You are supplied with two tuning forks, the frequency of one being known. How would you determine the number of vibrations executed per second by the other tuning fork ? 4, 2, 3, 6

10. What experiment leads you to believe that sound [illegible] not propagated through empty space ?

Two observers 'A' and 'B' are stationed in open air, one mile apart. 'A' fires a gun, 'B' sees the flash and 5 seconds later, hears the report of the gun. Calculate the velocity of sound in air.

Will the velocity, as determined in above problem, be affected by wind ? If so, how can the effect of wind be eliminated ?
6+5+1

1961 : PHYSICS—Second Paper

Attempt only **two** *questions from group* **A** *and* **three** *from group* **B**

Group A.

1. How are shadows formed ?

Explain, with the aid of a diagram, the formation of umbra and penumbra caused by an opaque spherical obstacle when light from a larger luminous sphere falls upon the obstacle.

Explain the condition in which total eclipse of the moon occurs.

4, 6, 5

2. How would you experimentally verify the laws of reflection ? Describe an experiment to show that the image of a luminous point formed by a plane mirror is as far behind the mirror as the luminous point is in front.

What deviation is produced by reflection at a plane surface when the angle of incidence is 60° ? Explain by diagram.

6, [illegible], 1

3. What is dispersion of light ?

What are the colours seen in a rainbow ?

Describe an experiment to prove that the colours of the rainbow are present in white light.

Give a neat diagram. [illegible], 3, 6, 3

4. Explain, by a diagram, what you mean by the 'Principal Focus' of a convergent lens.

Describe a method of determining the focal length of a convex lens.

An object is placed 30 cms. in front of a convex lens of focal length 10 cms. Where will the image be formed ? State the nature of the image.

How many times is the image magnified or diminished ?

2, 5, 1, 2, 2

Group B

5. Give an idea of the distribution of magnetism along the length of a bar magnet.

You are given a bar magnet, a rod of brass and a rod of soft iron. With nothing but the bars at your disposal, how would you identify them ?

If you break a bar magnet successively into a number of pieces, what will you notice ?

What is the conclusion you are led to ? 1, 5, [illegible], 3

6. Describe an experiment to illustrate the phenomenon of electrostatic induction.

By what experiments would you prove that electricities generated by electrostatic induction are equal in quantity but opposite in kind ?

The cap of a gold-leaf electroscope is charged with positive electricity and the leaves diverge. State what would happen when an insulated metal rod is brought close to the cap, if

(*a*) the rod is uncharged,

(*b*) the rod is negatively charged,

(*c*) the rod is positively charged. 3, [illegible] 9

7. A wire carrying a rather strong current is held over a compass needle. How is the direction in which the needle points affected when,

(*a*) the wire lies north and south,

(*b*) the direction of the current is reversed.

How would you ascertain, from the movement of the north end of the compass-needle, the direction of current in the wire ?

State any rule in support of your answer. 6, 6, [illegible]

8. Describe and explain the action of a calling bell.

Draw a neat diagram of the circuit used.

Would the working of the bell be affected by a reversal of the current in the circuit ?

If a calling bell is worked with a pair of cells in series each of *e.m.f.* = 1.5 volts and internal resistance = 1.8 ohms, find the resistance of the coil, the current in it being 0.5 ampere.

9. Describe a simple method of verifying Ohm's Law. Give a neat sketch of the circuit employed.

The ends of a uniform wire one metre long are connected to the terminals of a cell of *e.m.f.* = 2.1 volts, [illegible] 1.5 ohms. Find in milli-volts, the fall of potential per unit length of the wire if the resistance of the wire be 2 ohms. 6, 3, 6

10. What is an induced current ?

Describe two typical experiments by which the production of induced currents may be illustrated.

What conditions determine (*a*) the direction, (*b*) the duration, (*c*) the magnitude of the induced current ?

A rectangular block of copper ($8'' \times 5'' \times 1''$) at 0°C is heated to 800°C. Calculate the increase in volume.

(Co-efficient of linear expansion for copper$=0.16 \times 10^{-4}$ per degree centigrade) 2+3+5+5

7. What are the different processes by which nature tries to equalise the temperature of different bodies ?

Explain each process with a suitable example.

Give reasons for the following statements :—

(*a*) 'Water may be boiled in a paper box without charring the paper.' (*b*) 'It is hotter the same distance above a fire than in front of the fire.' 3+6+6

8. Distinguish between 'evaporation' and 'boiling'.

What do you mean by 'hygrometric state' of air ?

Describe any apparatus with the help of which the hygrometric state of the air may be determined.

Draw a neat sketch of the apparatus you describe. 3+2+6+4

Group C (Attempt **any two**)

9. How does the frequency of a vibrating string depend on (*i*) the length, (*ii*) the tension of the string ?

State giving reasons, how the pitch of the note emitted by the string of a musical instrument will change when (*i*) the tension is quadrupled, (*ii*) the length is halved.

A stretched wire under a tension of 1 kg. is in unison with a tuning fork of frequency 320. What alteration in the tension would make it vibrate in unison with a fork of frequency 256 ?

10. A vibrating tuning fork (of frequency 256, say) is held at the mouth of an open air (10 in. tall) jar and water is gradually and carefully poured into the jar. State what will happen.

How would you determine the velocity of sound in air by an experiment of this kind ?

A tuning fork of frequency 250 produces resonance in a glass tube with an air-column of 35 cms. For what length of air-column will resonance be produced with a tuning fork of frequency 350 ? 4+6+5

(Neglect end correction)

1961 : PHYSICS (Compartmental)—Second Paper

Group A (Attempt **any two**)

1. The path of light is rectilinear in a homogeneous medium. Describe two experiments in support of the statement.

The sun subtends the same angle as a half-penny at a distance of 10 ft. Give a diagram showing the size and nature of the shadow of the half-penny cast by the sun on a surface parallel to and at a distance of 5 ft. from the half penny. 5+5+5

2. Explain the terms 'Refraction' and 'Deviation'.

What kind of prism would you employ to deflect a beam of light through 90° ? Explain with a diagram.

How is it that a stick immersed partly in water and viewed obliquely appears to be bent at the surface of water ? Explain with the aid of a diagram.

3. Show, with the help of neat diagram, how a magnified real image of an object can be obtained by means of a convex lens.

Hence establish the lens formula. A convex lens of 6 cms. focal length forms a real image of a source of light, three times magnified. What is the position of the source ?

4. What is meant by dispersion of light ?

What is a pure spectrum ?

Describe an arrangement for producing a pure spectrum.

Group B (*any three*)

5. What are the 'poles of magnet' ?

D[illegible] a simple experiment to show that there are two kinds of poles in a magnet.

Describe a method of magnetising a knitting needle so as to have North polarity at the pointed end.

How would you determine whether a given steel rod is a magnet or not ?

6. What do you understand by 'electric current' ?

What are the means for the detection of electric current ?

Explain the difference between 'Quantity of electricity' and 'current strength'.

The terminals of a cell [illegible] and internal resistance [illegible] ohm are connected to a voltmeter. What will be the reading of the voltmeter when

(a) the cell does not supply a current,

(b) the terminals of the cell are connected by a wire and a [illegible] amperes flows through the cell ?

7. Describe and explain the 'action of points' on an electro-static phenomenon [illegible] mention a case of practical demonstration of the same.

What is lightning ?

Explain how a lightning conductor protects a building from lightning discharge.

8. How would you join conductors so that the effective resistance is (a) greater, (b) smaller than the individual resistance. Calculate the effective resistance in each case.

A cell having an e. m. f. of 2 volts and a resistance of [illegible] ohms is connected with three wires of resistances 1, 2 and 3 ohms respectively, the wires being parallel. Find the current through the cell.

3. Explain why you should lean backwards while getting down from a moving tram car or train. 5

What is *momentum?* A cricket ball, weighing $5\frac{1}{2}$ oz. and moving with a speed of 30 ft./sec, is brought to rest in $\frac{1}{8}$ sec. Calculate the average stopping force employed. (16 oz. = 1 lb.) 2+5

A chair is resting on the floor. When would force due to friction act between them? Where does this force act? Is this force constant in magnitude? 3

4. Briefly state what is meant by *work, power* and *energy*. 6

Define their practical units in the c. g. s. system. 4

A boy weighing 100 lb. ascends a flight of 20 steps, each 9 inches high, in [illegible] seconds. What horse power does he employ? 5

Group B

5. The Eiffel tower in France is 335 metres high. Its extreme temperature rises from 0°F in winter to 100°F in summer. The tower is made of steel of co-efficient of linear expansion equal to 12×10^{-6} per C. How taller is the tower in summer than in winter?

The co-efficient of expansion of mercury relative to glass is 153×10^{-6} per C, and its co-efficient of absolute expansion is 180×10^{-6} per C. Find the co-efficient of linear expansion of glass. 5

If a flask is made of glass of co-efficient of volume expansion equal to 27×10^{-6} per C and $\frac{3}{20}$ of its volume is occupied by mercury (co-efficient of absolute expansion $= 180 \times 10^{-6}$ per C), show that the volume of the remaining space will not change with change of temperature. 5

6. The *specific heat* of a substance is [illegible] per unit mass. Explain the meaning of the terms in italics. Define their units in the c. g. s. system. 2+2

What is the difference between the *thermal capacity* of a body and its *water equivalent?* 2

In experiments by the method of mixtures in a calorimeter we assume that the heat lost by the warmer bodies is equal to the heat gained by the cooler bodies. In order that this relation may hold, no heat must be allowed to enter or leave the calorimeter, or be developed or absorbed inside. Will then, the relation hold, if

(a) the calorimeter contains water and the solid is sugar,
(b) the solid and the liquid in the calorimeter react chemically,
(c) the calorimeter is kept on a table and is exposed to the air?

Explain your answers briefly. 2+2+2=6

How is good thermal insulation of a calorimeter brought about? 3

What is *demagnetization* ? Bar magnets are kept in pairs with soft iron pieces, called *keepers*, connecting opposite poles. How do keepers prevent self-demagnetization of the magnets ? 2+3

6. A hollow metallic body of irregular shape has a small hole. It is electrically charged and kept on an insulating stand. You are testing the distribution of charge on it with the help of a gold-leaf electroscope and proof-plane. State how the divergence of the electroscope will change when the proof-plane collects charge from 6

(*a*) a flat portion of the surface,

(*b*) a pointed portion of the surface,

(*c*) inside the hollow.

Explain the action of lightning conductors 6

Why is it not safe to stand near a tall structure during a thunder-storm ? 3

7 What conditions must be fulfilled so that an electric current may continue to flow through a circuit ? Illustrate your answer

'An *e. m. f.* is said to exist in a part of circuit where some other form of energy is converted into the electrical form A potential difference is said to exist in a part of a circuit where electrical energy is converted into any other form' Illustrate this statement by referring to a circuit which contains a battery of cells, a resistance, an electric motor and electrolytic cell, stating in your answer where the *e. m. f.* and the potential differences are. 8

In what units are *e. m. f.* and potential difference measured ? 2

8 State Ohm's law. 2

Wires of resistance 1, 2 and 3 ohms are connected in series across a Leclanche cell of *e. m. f.* 1·5 volts and internal resistance 3 ohms Calculate the potential difference across each of the wires, and also the drop of potential inside the cell

What is the potential difference between the terminals of the cell when (*a*) it is in open circuit, (*b*) it is in closed circuit ?

How is the *ampere* theoretically defined ? What is meant by the *International Ampere* ?

9 An electric current produces a magnetic field around it. State any law that you know connecting the direction of the current and the direction of the field it produces at a point

A conductor carrying an electric current is held above a magnetic needle parallel to its axis. The south pole of the needle is then found to deflect towards the west. What is the direction of the current ? 2

Draw a diagram showing the lines of force inside and outside a straight solenoid carrying an electric current, and mark the directions of the current and the lines of force 5

What similarity does the magnetic field due to a solenoid have with that due to a bar magnet ? 3

How is the magnetic field altered if you place a bar of soft iron inside the solenoid ?

10. Draw a diagram of a simple current *dynamo* and describe how it can supply an electric current.

What kind of energy is converted into electrical energy in this case ? How is this energy supplied ? 1+1

When a dynamo is supplying a current, will there be a drop of potential between its terminals, as happens in the case of a cell ? 1

1963 : Physics (Compartmental) First Paper

Group A

1 How much is an inch in centimetres, and a pound in grams ? 2

The unit of time is the mean solar second How is it defined ? 2

A 100-yd. racing track is extended to 100 metres What additional distance has one to run on the new track ? 2

What is a radian ? Calculate its value in degrees and minutes (π 3.14). A railway line of length 150 ft. is to curve through 10°. If the line forms an arc of a circle what is the radius of curvature ? 2+3+3

2 State Archimedes' principle. What is the apparent loss of weight due to ? 2+2

A buoy of volume 1000 litres and weighing 950 kg is fully immersed in sea-water of specific gravity 1·02, being anchored to the sea-bottom by a chain What is the tension in the chain ? (Ignore weight of the chain.) 5

A piece of brick has a specific gravity of 1·5 and weighs 5 kg How much will it weigh when just half of it is immersed in water ? 6

3. What condition must be fulfilled so that a body may float in a liquid ? Illustrate your answer by two examples. 4

A cylindrical pencil, 8 inches long, floats vertically in water with 3 inches of it above the water. How much of it will project out of a liquid of specific gravity 0·8 ? 5

Describe briefly the construction of a common hydrometer and describe how it works. 3+3

4. Distinguish between mass and weight. What is meant by 'a force of one pound'? 2+1

What are action and reaction? Do they act on the same body? Illustrate your answer. 5

'An unbalanced force produces acceleration while balanced forces produce deformation'. Explain what you understand by this statement in reference to a body resting on the floor. 4

State Hooke's law. Define stress and strain. 3

GROUP B

5. How are the Centigrade and Fahrenheit scales of temperature defined? 4

At what temperature will the reading on the Fahrenheit scale be five times that on the Centigrade scale? 5

What is a maximum thermometer? Explain with the help of a diagram how a clinical thermometer acts as a maximum thermometer. 2+4

6. When is latent heat absorbed? When is it emitted? 2

A small quantity of water is placed in a hole in a large block of melting ice. Will it freeze? Give reasons for your answer. 3

What distinguishes boiling from evaporation? 5

Water may be made to boil at various temperatures. Describe an experiment to illustrate it. 3

7. Distinguish between conduction and convection of heat. 4

Draw a diagram of Davy's safety lamp showing the different parts. Explain the use of the wire gauze. 3+3

Illustrate how convection helps ventilation. 3

8. Draw a diagram of any simple form of engine showing the different parts. Describe the changes that take place in the cylinder of the engine during a complete cycle. 6+6

At what stage is the heat converted into work? 2

Is the whole of the heat absorbed from the source converted into work in an engine? 1

GROUP C

9. Describe the nature of sound waves in air. 5

What do you understand by *wave-length, frequency* and *velocity* of sound waves? 6

What is an echo? Why cannot echoes be heard at short distances?

.10. A sonometer string is made to vibrate in its fundamental mode. State how its frequency will change with change in (i) tension, (ii) length, (iii) diameter and (iv) density of material. 10

The stem of a vibrating fork is placed on a sonometer board. State briefly how energy is transferred (a) from the fork to the string, (b) from the fork to the air in the sonometer box and thence to a listener.

1963 : (Compartmental) - Second Paper

GROUP A

1. What are *Umbra* and *Penumbra* ? 2+2

Draw neat diagrams to explain their formation when :—

(*a*) the source of light is bigger than the obstacle,
(*b*) the source is smaller than the obstacle 4+4

[On the diagram mark the Umbra, Penumbra Umbral cone. No explanation of drawing is necessary].

It is said that a fluorescent tube light (which is a long tube emitting light) does not cast a sharp shadow. Explain why. 3

2. What should be the angle of incidence on a plane mirror so that the incident ray is deviated by a right angle ? 4

Show that if a mirror turns through an angle θ a ray incident on it from a fixed direction turns through an angle 2θ. 6

How would you place two plane mirrors so that you can see the back of your head ? (Draw a diagram tracing a ray from the back to the eye.) 6

3. What is total reflection ? 4

Find how the critical angle is related to the refractive index. 3

Give two examples of total reflection. 4

If the critical angle of water relative to air be 48°5′, show that the objects outside the water, will appear to a diver to be confined within a cone of angle ... 4

What properties of a lens are utilized to find the position of the image of an extended object placed on the principal axis of the lens ? Draw a diagram to illustrate your answer. 6

A convergent lens is laid on a horizontal plane mirror with its axis vertical. The point of a pin is moved along the axis of the lens. Where will the point and the image coincide ? Give reasons for your answer. 6

You have a distant source. How can you find the focal length of a convergent lens with its help ? 3

GROUP B

5. The earth is said to behave like a huge magnet. What facts lead us to this view ? 6

Draw a diagram showing broadly the nature of the earth's magnetic field around it. 6

Lines of force due to a magnet are supposed to be directed from its north pole to the south through air. But in the case of the earth's field, we draw the field lines from the south to the north. Why is this difference ? 3

6. When two bodies are rubbed together one acquires a positive charge and the other a negative one. Explain this in terms of electron transfer. 5

What distinguishes a conductor from an insulator ? Name two good conductors and two good insulators. 4 + 2

Why are electric power lines not connected directly to the supporting metal posts, but are placed on porcelain pieces attached to the posts ? 4

7. What is an electric current ? 2

What are three principal effects an electric current can produce ? Describe simple experiments to illustrate them. 3 + 3

Maintenance of an electric current requires continuous supply of energy. What kind of energy is converted into electrical energy in (a) a cell, (b) a dynamo ? 2 + 2

8. How does the heat generated by an electric current depend upon :- 3

(a) the strength of the current,

(b) the resistance through which it flows,

(c) the duration of flow.

If the current is halved and the resistance is doubled how will the rate of heating change ? 3

How does a fuse work ? 3

Name any two other devices which utilize the heating effect of currents, and briefly indicate how they work 6

9. Describe an experiment to show that a conductor carrying an electric current experiences a mechanical force when placed in a perpendicular magnetic field. 6

What is the direction of this force ? 2

Briefly explain the action of an electric motor with the help of a simple diagram. 7

10. What is electromagnetic induction ? Describe an experiment to illustrate it, taking the case of a coil and a magnet or two coils. 2 + 6

If both coils are fixed in position how would you induce a current in one by the other? 2

In reference to any case of electromagnetic induction, show how Lenz's law can be applied to get the direction of the induced e. m. f. 5

1964 : PHYSICS (Science Group)—First Paper

GROUP A (*Answer any* TWO *questions*)

1. A body of mass 100 gm has a momentum of 2,000 gm. cm. per second. What is its velocity? What is its kinetic energy? If the above momentum was acquired from rest in 10 seconds, what were the acceleration and the force acting on the body? (In all cases mention the unit.) 8

State and explain Newton's third law of motion. 5

Two boys pull the two ends of a rope as in a tug-of-war, each with a force of 50 lb. wt. What is the tension in the rope? 2

2. When is work said to be done (*a*) *by* a force, (*b*) *against* a force? Illustrate your answer taking as example the case of a heavy body which is *either* being pulled across a rough floor *or* is being lifted. Is work done whenever a force is exerted? 6

Distinguish between kinetic energy and potential energy, giving examples. 6

A body has 1 joule of kinetic energy. It is opposed by a force of 1 mega dyne ($=10^6$ dynes). How far will the body move before coming to rest? 3

3. What is meant by acceleration due to gravity? What is a second's pendulum? 4

Calculate the length of a second's pendulum (to 3 significant digits) at a place where $g=980$ cm/sec.^{2}. What will the periodic time be if the length is increased 2·25 times? $\left(\pi=\frac{22}{7}\right)$ 4+2

Describe how you would find the specific gravity of a cork with the help of a Nicholson's hydrometer. 5

4. Draw a labelled diagram of a barometer. Give a short description and state how it acts. 4+4+2

'The standard atmospheric pressure is equal to the pressure due to 76 cm. of mercury at 0°C, 45° latitude and mean sea-level.'—Briefly explain why it is necessary to mention the temperature, latitude and height relative to sea-level in this definition. 5

GROUP C (*Answer any* ONE *question*)

9. Distinguish between transverse and longitudinal waves giving an example of each. 6

Define wave-length, frequency and velocity in relation to a wave. 6

A tuning fork vibrates 254 times a second. The sound wave it emits travels with a speed of 1,143 ft. per second. What is the wave-length ? 3

10. State the laws of transverse vibration of strings. Show on a diagram how the vibrations of a string differ when it is producing (*a*) the fundamental, (*b*) the first harmonic. 6 + 3

A string under tension vibrates with a frequency n. What will be the frequency if other factors remaining the same, (i) the length is doubled (ii) the diameter is doubled ? 4

What are supersonic vibrations ? 2

1964 : PHYSICS—Second Paper

GROUP A (*Answer any* TWO *questions*)

1. What is an *umbral cone* ? A bird flying close to the ground casts a shadow on the ground, but when it flies high up in the air, there is no detectable shadow. Explain. 2 + 4

Explain how total internal reflection takes place. 5

Describe the action and utility of a periscope. 4

2. Obtain a relation between the real and apparent depths of an object placed in water when seen normal to the water surface. 5

Show that when a ray passes through a prism at minimum deviation, the refractive index μ is given by the expression

$$\mu = \frac{\sin \frac{1}{2}(A+\delta)}{\sin \frac{1}{2} A}$$

where A is the angle of the prism and δ is the angle of minimum deviation 5

A man stands in the middle of a room and looks into a mirror, suitably placed, on the wall facing him. Show, by drawing the necessary diagram, that the mirror must be at least 4 ft. tall so that he may see the full image of a 12 ft. high wall behind him. 5

3. Draw diagrams illustrating the action of (*a*) a convex glass lens (*b*) a concave glass lens on a parallel beam of light. Which should be called a convergent lens and which a divergent lens, and why ? 4

How do the following rays behave on refraction by a convergent lens ?— 4

(*a*) a ray passing through the first principal focus,

(b) a ray passing through the optical centre.

A small object stands on the principal axis of a convergent lens, and is closer to the lens than the first principal focus. Draw a diagram showing where the image is formed. Explain the diagram, and state the nature of the image. 3+2+2

A convergent lens forms a real image of the same size as the object. What is the distance between the object and the image in terms of the focal length of the lens ? 4

What is dispersion of light ? What is a pure spectrum ? How would you produce a pure spectrum ? 3+2+5

GROUP B (*Answer any* THREE *questions*)

5. What is a magnetic field ? What is a magnetic line of force ? What are the properties of lines of force ? 2+2+6

A bar magnet is placed in the earth's magnetic field with its north pole pointing north. Indicate on a diagram the directions of the magnetic field to the east and west of the neutral points. (Mark the north and south poles of the magnet, and also the neutral points.) 5

6. Distinguish between a free charge and a bound charge. 3

Describe simple experiments to show that

(*a*) a free charge resides on the outer surface of a conductor ,

(*b*) charges concentrate at sharp points. 4+4

Explain why a charged conductor fitted with sharp points discharges more easily than a smooth conductor. 4

7. Draw a diagram of an electric circuit using (*a*) two cells in series, (*b*) a key, (*c*) a rheostat, (*d*) an ammeter and (*e*) an electrolytic cell. Label the parts and mark the positive and negative terminals of each. 8

There are two light points, one fan with a regulator and one plug point in a room, where the mains are introduced in a corner.

Give a plan of the wiring system. 7

8. State how the rate of heating by an electric current depends upon the strength of the current, the resistance and the applied potential difference. 6

Two wires, of resistances 2 ohms and 4 ohms respectively, are connected in series, and a potential difference of 6 volts is applied between the ends. Compare the rates of heating in the two wires. 4

What would be the ratio of the rates of heating in the two wires if they were connected in parallel. 5

9. Describe the Barlow's wheel experiment, and explain how it illustrates the effect of a magnetic field on a current. 5+4

Write down Fleming's right-hand and left-hand rules, stating the field of application of each. 3+3

10. Explain the terms *ion*, *electrolyte* and *electrolysis*. 6

What is the difference between an electrolytic cell and a voltaic cell? 4

Explain how an electric current may be measured by the electrolysis it produces. 5

INDEX

[The numbers refer to the pages]